



Università  
Ca' Foscari  
Venezia

Corso di Laurea Magistrale  
in Scienze dell'antichità: letterature, storia e  
archeologia

Tesi di Laurea Magistrale

## 3D in Archeologia

Il "Galata in ginocchio": progetto di fotogrammetria automatica  
applicata alla statuaria ellenistica

**Relatore**

Prof. Luigi Sperti

**Laureando**

Diego Alejandro Gualteros Ruiz

Matricola 812436

**Anno Accademico**

2015/ 2016

*A Livia e alla mia famiglia.*





**INDICE**

Introduzione.....6

**PARTE I**

1. 3D e il rapporto delle tecnologie con l'archeologia e con i Beni Culturali.....11

    1.1 Gli anni '60 - '70.....13

    1.2 Gli anni '80.....14

    1.3 Gli anni '90.....16

    1.4 Al giorno d'oggi.....18

2. Come nasce il 3D?.....23

3. La fotografia digitale e la fotogrammetria.....27

4. Comunicare in archeologia.....31

5. Possibilità e limiti del 3D.....35

6. I software low cost e *open source*.....41

    6.1 *Python Photogrammetry Toolbox (PPT)*.....43

    6.2 *VisualSfM*.....44

    6.3 *ARC3D*.....45

    6.4 *Autodesk 123D Catch*.....46

    6.5 *PhotoScan (Standard Edition)*.....46

    6.6 *3DF Zephyr*.....47

## PARTE II

7. La scelta dell'oggetto di studio.....	49
7.1 Aspetti storico-archeologici.....	53
8. Progettazione e realizzazione di una campagna fotografica di rilievo 3D.....	58
8.1 L'attrezzatura necessaria.....	59
8.2 Rilievo fotografico.....	61
9. Come si realizza un modello 3D.....	64
10. Parametri e generalità conclusive per ottenere un modello 3D.....	75
11. Altri casi di studio.....	77
11.1 “Testa di Dioniso”.....	77
11.2 “Ara Grimani”.....	79
. Conclusione.....	82
. Ringraziamenti.....	85
. Bibliografia.....	86
. Sitografia.....	90

## **. Introduzione**

Nello svolgimento dell'intero percorso accademico presso l'Università Ca' Foscari di Venezia, sono stati molti gli argomenti che hanno suscitato l'interesse di chi scrive e che senza dubbio meritavano di essere approfonditi; uno fra questi però già nell'ambito conclusivo del Corso di Laurea in Conservazione dei Beni Culturali si profilava ad essere il prediletto. La decisione di scegliere come base di studio uno strumento alternativo come la fotografia in ambito archeologico ha influenzato fortemente anche il presente contributo riguardante il 3D in archeologia, sia perché dal punto di vista metodologico e analitico si è inserita come elemento standard dell'attrezzatura archeologica, sia perché la comprensione, la valorizzazione e la conservazione dell'opera antica hanno contribuito a inserire la fotografia come strumento fondamentale tanto nelle fasi di studio, quanto in quelle divulgative.

La tecnologia 3D è un argomento del quale si parla molto negli ultimi tempi. Gli avanzamenti che si sono compiuti in questo settore hanno permesso non solo al mondo dello spettacolo di rivoluzionare il modo di vedere la realtà, ma hanno consentito anche a diversi settori disciplinari di sfruttare le caratteristiche di questa tecnologia per abbattere barriere metodologiche. La prima parte di questa tesi può essere considerata come una premessa teorica nella quale si entra nel dettaglio del 3D e il rapporto che esso ha con i Beni Culturali e più specificamente con l'archeologia, precisando come i sistemi tridimensionali si siano evoluti sin dalla seconda metà dell'800 fino ai giorni nostri in concomitanza con la creazione e i mutamenti degli ormai diffusissimi *Personal Computer*.

La fotografia in sé costituisce uno dei principali mezzi per descrivere, documentare e pubblicare nel modo più fedele possibile diverse situazioni e realtà archeologiche e non solo, perciò ho deciso di approfondire la validità e l'applicabilità di tale strumento nelle diverse fasi della ricerca archeologica, nell'intento di descrivere, spiegare e interpretare in chiave moderna il patrimonio culturale prendendo come oggetto di esame il "Galata in ginocchio", un'opera della statuaria ellenistica presente nel Museo archeologico

nazionale di Venezia. Si tratta di una replica proveniente da Roma di età antoniana (seconda metà del II sec. d.C. ) da un originale di scuola pergamena databile nella seconda metà del II sec. a.C., e collocabile all'interno del gruppo scultoreo meglio conosciuto come “Piccolo Donario pergameno”<sup>1</sup>. La scelta è stata motivata da una parte dalla storia che porta la suddetta statua ad avere un legame molto forte con la città di Venezia per quanto riguarda il collezionismo d'arte classica in ambiente lagunare, dall'altra, il desiderio di approfondire e sperimentare con le cosiddette “nuove tecnologie” e nello specifico con i programmi di modellazione tridimensionale. La base di partenza è stata lo studio di una tecnica chiamata: fotogrammetria automatica, una modalità di rilievo digitale, la quale consente di ottenere immagini 3D da una serie di fotografie scattate con una comune fotocamera digitale.

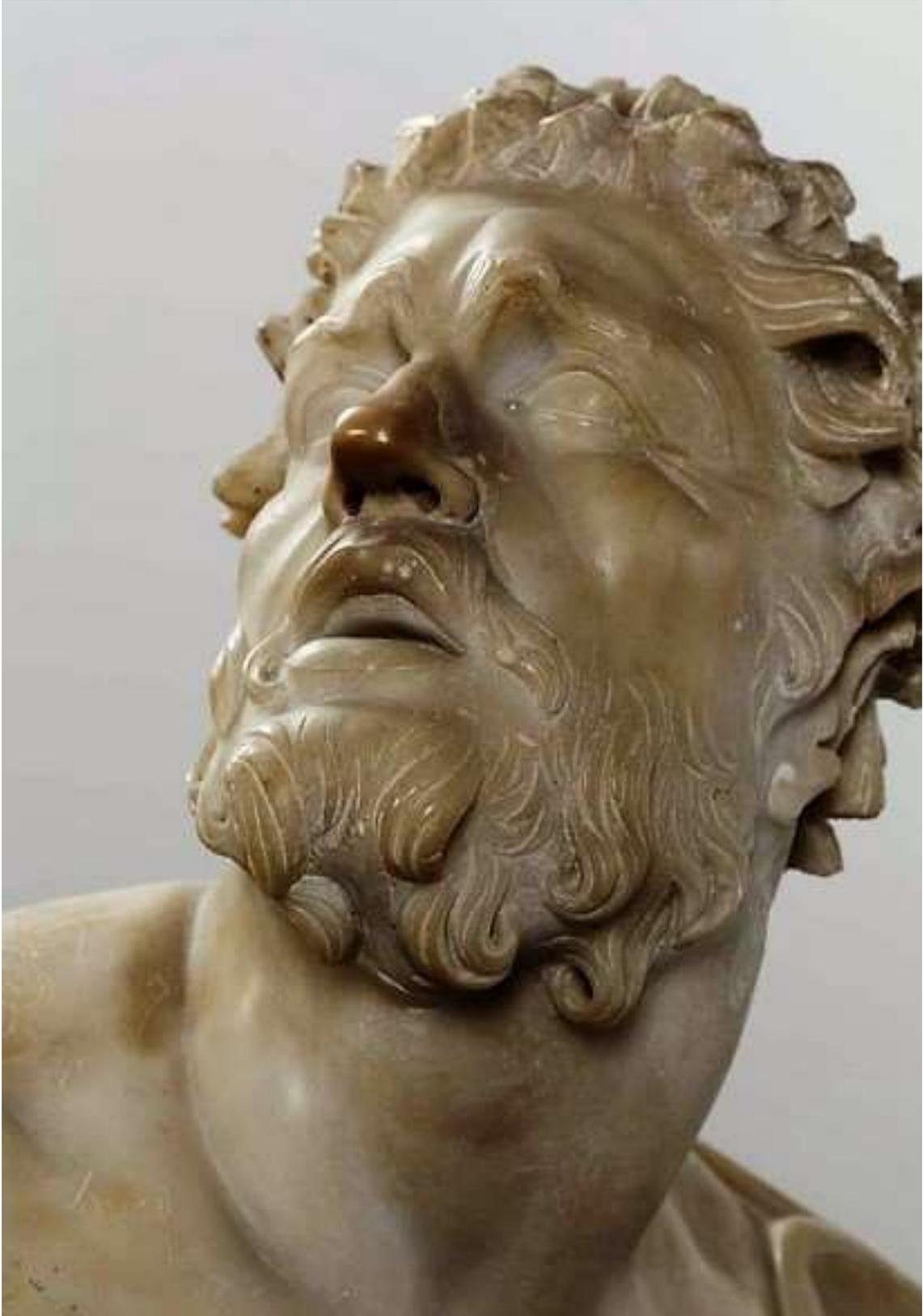
Il sempre più diffuso utilizzo delle applicazioni tecnologiche mi ha portato ad analizzare i pregi e difetti che porta con sé questa alternativa di rilievo archeologico, sottolineando che non si tratta di una tecnica in concorrenza o alternativa a quelle regolarmente in uso, ma semplicemente di un'ulteriore tecnica da tenere in considerazione per integrare le informazioni ricavate con altri tipi di rilievi, il tutto con l'obiettivo di usufruire del patrimonio culturale attraverso il passaggio da un'archeologia convenzionale ad un'archeologia visuale e più dinamica.

La seconda parte si traduce nel tentativo pratico di ricreare digitalmente il “Galata in ginocchio”. L'intenzione è stata quella di mettere in atto una campagna di rilievo fotografico con l'obiettivo di progettare e realizzare un modello tridimensionale utilizzando immagini digitali ed elaborarle posteriormente con un software *low cost*, chiamato *3DZephyr Lite*, nato da un progetto giovane ed innovativo nell'ambito della *Computer Vision* all'interno dell'Università di Verona. Si vedrà come la scelta del software sia stata guidata soprattutto dalla semplicità di utilizzo del programma e dalla relativa velocità di gestione delle fotografie utilizzate per generare il modello tridimensionale. Il lavoro è stato quindi impostato secondo l'utilizzo di mezzi alla portata di tutti, reperibili anche on line e possibilmente finalizzato a facilitare la lettura e rendere fruibili quei reperti a quali si vuole dare una maggior visibilità. Nella parte

---

1 PALMA 1981.

conclusiva ho voluto approfondire l'utilizzo della fotogrammetria automatica estendendola ad altri casi di studio, creando nel contempo una galleria virtuale composta dal “Galata in ginocchio”, “L'Ara Grimani” e una “Testa di Dioniso”, tutti reperti collocati nella maestuosa Antisala della Biblioteca Marciana.



(Foto personale)

## **Parte I**

## **1. 3D e il rapporto delle tecnologie con l'archeologia e con i Beni Culturali**

Per entrare nel dettaglio della tecnologia 3D e il rapporto che essa ha con i Beni Culturali e più specificamente con l'archeologia, è bene fare un accenno storico del processo di sviluppo che ha portato queste due materie verso un connubio che ha dimostrato la validità e l'applicabilità dello strumento tecnologico nelle diverse fasi della ricerca archeologica, nell'intento di descrivere, spiegare e interpretare in chiave moderna il patrimonio culturale<sup>2</sup>.

Sono passati oltre quarant'anni da quando i primi computer entrarono a far parte delle attività di studio e di ricerca al di fuori dell'ambito militare. La tecnologia ha compiuto grandi passi in avanti e l'elaborazione dei dati in 3D ha dimostrato di poter dare un contributo non indifferente e in futuro potrà dimostrarsi come elemento di grande impulso per quanto riguarda sia la metodologia di documentazione archeologica, sia la comunicazione e la divulgazione dei dati al pubblico.

Per anni si è pensato che il rapporto delle tecnologie con l'archeologia e con i Beni Culturali sia complesso, e che l'utilizzo di macchinose metodologie, in un certo senso, non possa essere legata direttamente agli addetti che con la cultura hanno a che fare. Ovviamente l'archeologo delegando parte della comunicazione dei risultati delle ricerche è andato incontro a problematiche che riguardano appunto la formazione, il grado di comprensione e la corretta contestualizzazione del dato archeologico che queste figure professionali ausiliari si trovavano a processare. Si sa che le abitudini sono difficili da cambiare e in ambito archeologico il tradizionalismo metodologico, non si riusciva a visualizzare la potenzialità che le tecnologie potevano avere per ricavare in prima persona le informazioni necessarie per la comprensione delle testimonianze materiali di cui siamo in possesso. Riguardo a queste problematiche, si è acceso un

---

2 Inteso come i beni che costituiscono il patrimonio artistico, storico, architettonico e ambientale (compresi i beni librari, archivistici, musicali, fotografici, paesaggistici, ecc.) considerati tali, non solo per il loro valore intrinseco, ma anche in rapporto alla tutela e alla conservazione.

interessante dibattito incentrato sulla posizione che l'archeologo doveva assumere nei confronti di tale "vuoto formativo"<sup>3</sup>: non essendo del tutto semplice svolgere sia il compito dell'archeologo, sia quello dell'informatico, del fotografo, del programmatore, del comunicatore, ecc., si continuava (e si continua) a fare affidamento a tutti coloro abbiano una conoscenza tecnica delle strumentazioni di cui l'archeologo non è in grado di padroneggiare.

Molto probabilmente la sfiducia nei confronti di questi strumenti derivava da un conflitto immotivato verso l'idea di un incontro di due culture, quella umanistica e quella scientifica (propriamente tecnologica), ma da quando il computer ha aiutato gli studiosi nella gestione dei dati, siamo arrivati oggi al sapiente utilizzo di questo strumento per la trasformazione dei processi metodologici che permettono all'archeologo di partecipare in modo attivo nella sperimentazione della cosiddetta interdisciplinarietà, tuttavia, l'introduzione di nuove tecnologie in questo campo è stata spesso problematica a causa della resistenza nel rimpiazzare approcci consolidati con metodi sperimentali basati su sistemi hardware e software innovativi; in particolare è stata problematica l'introduzione di modelli 3D digitali poiché non è banale passare dalla visualizzazione bidimensionale, basata su fotografie o disegni, alla possibilità di esplorare un oggetto nelle sue tre dimensioni.

Non potrei parlare dei computer senza menzionare A. Turing, celebre matematico britannico che negli anni quaranta del Novecento riuscì a progettare una macchina ideale, basata su processi algoritmici, la quale sarebbe stata in grado di effettuare qualsiasi tipo di calcolo. Per focalizzare al meglio il modo in cui la suddetta macchina è entrata a far parte dei nostri più comuni strumenti di lavoro, dobbiamo rivolgere l'attenzione agli anni '70: è una decade importante perché furono gli anni in cui l'italiano F. Faggin<sup>4</sup> e l'americano M. Hoff, realizzarono il primo microprocessore, grazie al quale fu possibile produrre calcolatori o computer molto più economici e

---

3 MANACORDA *et al.* 2009, pp. 43-74.

4 Il fisico Federico Faggin, nato nel 1941, negli anni divenne inventore e imprenditore. Fu capo del progetto dell'*Intel* 4004, in cui venne creato il primo microprocessore al mondo. Il suo contributo permise la fabbricazione delle prime memorie RAM, elemento essenziale per la digitalizzazione di dati. Si veda FAGGIN 2011.

soprattutto di dimensioni ridotte che contavano con prestazioni simili a quelle delle grandi macchine di computo progettate negli anni precedenti. Il risultato, quindi, fu la nascita del *personal computer* (PC). Non è necessario approfondire in modo esaustivo l'importanza di questo apparecchio, basti pensare al quotidiano e volte incessante uso (o abuso) che ne facciamo per svolgere i più banali compiti. Vediamo quindi che il computer da qualche decennio ha permesso ai ricercatori di trovare una soluzione alla computazione manuale e ha risolto (ovviamente non in forma definitiva) la necessità di dover selezionare il dato da registrare onde evitare ingestibili raccolte di informazioni; inoltre ha permesso di acquisire una nuova consapevolezza nella formulazione del dato, costruita sull'esigenza di riportare in modo fedele, oggettivo e puntuale ogni azione ed ogni processo portato a termine durante uno studio preliminare, una ricognizione o durante uno scavo. La disponibilità di supporti di registrazione sempre più efficienti e ridotti nelle loro dimensioni e l'avanzamento tecnologico nella gestione delle informazioni ha liberato i ricercatori dalla necessità di selezionare i dati, consentendo loro di annotare e catalogare i risultati parziali e/o definitivi della ricerca: però, solo se questa operazione viene condotta con metodo sarà poi possibile formulare nuove domande per ricevere nuove risposte in grado di aprire ulteriori canali di conoscenza e comprensione del passato.

È d'obbligo fare in piccolo salto nel passato per capire come nel corso degli anni in Italia l'uso del "calcolatore"<sup>5</sup> e della tecnologia informatica, abbia reso molto più agevole l'elaborazione della mole di dati che venivano prodotti nelle campagne di ricerca archeologica.

## **1.1 Gli anni '60 - '70**

Con la nascita di una nuova corrente archeologica, conosciuta come *New Archaeology*, la rivalutazione delle metodologie avviatasi negli anni '60, diede in qualche modo vita alle prime applicazioni informatiche pensate *ad hoc* per i Beni Culturali<sup>6</sup>. Al di fuori

---

5 PICARRETA 1992.

6 HENRY 2006.

dell'Italia, in paesi come gli Stati Uniti o Gran Bretagna le sperimentazioni in campo archeologico di modelli statistici, completavano e corroboravano patroni insediativi, attraverso il metodo ipotetico-deduttivo, caratterizzato per il forte influsso dei modelli utilizzati nelle scienze esatte non limitandosi a raccontare i processi di trasformazione socio-culturali delle civiltà, ma che erano anche in grado di produrre e riprodurre le dinamiche storiche a partire dallo studio della cultura materiale. Nonostante queste sperimentazioni si siano avviate in un filone di studi specifici come quello della Archeologia Preistorica<sup>7</sup>, si capisce che il ricorso a questo tipo di modelli di indagine, fossero un valido strumento in grado di offrire diverse possibilità di lettura del dato in diversi ambiti archeologici.

Il successo di queste prime applicazioni informatiche in ambito archeologico si diffuse poi nel corso degli anni '70 e rese il settore umanistico più favorevole all'uso del computer sebbene il lavoro vero e proprio di implementazione di questo strumento fosse delegato ai tecnici informatici. L'archeologo veniva relegato in questo senso a interprete dei risultati selezionati e privilegiati dal tecnico, a discapito delle motivazioni storiche e culturali della ricerca<sup>8</sup>. Malgrado la diffidenza, la corsa tecnologica si era già avviata, il computer oltre ad essere utilizzato come strumento interpretativo, veniva impiegato in compiti di natura gestionale attraverso i nuovi programmi e basi di dati creati negli Stati Uniti per la raccolta e conservazione di informazioni riguardanti siti archeologici e il loro rapporto con il territorio<sup>9</sup>.

## 1.2 Gli anni '80

Nella breve storia delle applicazioni informatiche in ambito culturale, si può dire che dagli anni '80 in poi, in Italia e nel resto del mondo, la voglia e la necessità di arrivare in un modo più immediato alla comunità scientifica e al pubblico ha portato gli studiosi

---

7 L'archeologo David Clarke viene considerato da molti come l'elemento innovatore dell'archeologia teorica, il quale tra il 1968 e il 1972, utilizzo le prime soluzioni informatiche applicate allo studio di ambienti preistorici della Britannia. Per approfondimenti si veda CLARKE 1978.

8 D'ANDREA 2006.

9 COWGILL 2001.

ad una condivisione delle informazioni che stia alla pari con i tempi. Certamente è difficile parlare di tenersi aggiornati quando si parla di tecnologie, perché sappiamo quanta verità risiede nel proverbio popolare: “*ciò che è nuovo oggi, sarà già vecchio domani*”. È innegabile che proprio in quei anni la rivoluzione informatica era in fermento<sup>10</sup> e per quanto riguarda l’archeologia, non era facile rinnovarsi, tenendo conto che come disciplina scientifica doveva ancora affermarsi a pieno<sup>11</sup>. Nonostante le capacità di divulgazione delle nuove tecnologie abbiano aperto frontiere spaziali e ideologiche, in ambito archeologico però, il lavoro dello specialista sul campo non risultava molto diverso rispetto a qualche anno fa<sup>12</sup>. L’informatica si era infiltrata in modo meno evidente e i metodi di documentazione non hanno subito la dovuta evoluzione che pure le tecnologie sarebbero in grado di veicolare, basti pensare che una delle poche pratiche standardizzate a livello nazionale era limitata alla compilazione di alcuni tipi di scheda, senz’altro conformi con i requisiti e i caratteri propri di un protocollo di registrazione scientifico, però che rimane comunque confinata ad alcuni aspetti formali<sup>13</sup>. Fortunatamente traccia della suddetta svolta informatica viene puntualmente registrata da uno dei più importanti, e per quanto sia possibile, più aggiornati contributi letterari in materia di tecnologie applicate all’archeologia, ovvero la rivista *Archeologia e calcolatori*<sup>14</sup>. Lo stimolo per stabilire una nuova rivista proveniva da un’analisi di questo campo di studi in Italia; infatti, mentre il crescente interesse per le varie applicazioni consentivano il riconoscimento dell’introduzione del

---

10 È proprio a metà degli anni ’80 che vi è un nuovo periodo di crescita dei sistemi informatici applicati ai Beni Culturali caratterizzato sia dalla maggior diffusione dell’uso del computer in archeologia, sia dalla messa a punto dei GIS (*Geographic Information System*), i quali permisero in un certo modo di ravvicinare con più fermezza gli operatori archeologici ai metodi informatici, essendo uno strumento con numerose possibilità di impiego nelle analisi territoriali. Si veda BIALLO 2002.

11 Si superavano i concetti della *New Archaeology*, considerata come un modello poco funzionale basato su presupposti teorici, matematici e statistici in conflitto con la nascente *Post Processual Archaeology*, la quale era influenzata da tendenze socio-filosofiche e più legata allo sviluppo di metodologie archeologiche teoriche. Si veda RENFREW, BAHN 2009.

12 D’ANDREA 2000.

13 CARANDINI, MANACORDA 1990.

14 Il primo numero di *Archeologia e Calcolatori* è stato pubblicato nel 1990 su iniziativa dell’Istituto per l’Archeologia Etrusco-Italica (ora Istituto di Studi sul Mediterraneo antico) del Consiglio Nazionale delle Ricerche italiano (CNR), insieme con il Dipartimento di Archeologia e Storia delle Arti dell’Università di Siena. Per approfondimenti: [www.archcalc.cnr.it](http://www.archcalc.cnr.it).

computer in archeologia, emerse l'evidente necessità di creare un punto di riferimento stabile, al fine di raccogliere progetti e diffondere i risultati della ricerca italiana e internazionale. Questo era l'obiettivo delle due figure a capo di tale progetto M. Cristofani e R. Francovich,

Nel frattempo, la catalogazione formale e standardizzata del patrimonio culturale di cui si è parlato prima, che era (ed è) solitamente basata su dati testuali e fotografie e ancor prima di queste, dai disegni di stampo artistico (influenzata dalla pittura paesaggistica), fece un salto in avanti integrando e superando il concetto dell'elemento grafico confinato al solo scopo illustrativo delle campagne di scavo, a elemento integrativo della ricerca. Con l'accettazione di nuovi metodi grafici, il ruolo che è andato a ricoprire il 3D in archeologia quindi, veniva sintetizzato nella volontà di rendere i dati archeologici più dinamici, consentire una miglior e rinnovata lettura non solo del reperto ma anche del processo archeologico per intero.

### **1.3 Gli anni '90**

In questi anni si diffondono rapidamente anche le applicazioni multimediali, si ricorreva a un insieme di metodologie integrate chiamate *computer graphic*<sup>15</sup>. Con queste metodologie nasceva un modo di interpretazione del dato archeologico che mirava in un primo momento al restauro digitale, che però, non deve essere intesa come ricostruzione ideale dei manufatti bensì, come strumento per la verifica e la sintesi dei dati analitici pertinenti alla ricerca archeologica, senza dimenticare che doveva essere privilegiato l'aspetto scientifico piuttosto che quello tecnologico. In questo contesto rientrano la realtà virtuale<sup>16</sup> e il 3D che si impongono facilmente nonostante le problematiche legate ai costi e alla preparazione delle risorse umane poiché, si tratta di programmi informatici che consentono all'archeologo di avere un ruolo attivo nel processo di

15 Gli obiettivi fondamentali nell'adozione del disegno informatico infatti, coincidevano in sintesi con le principali necessità della ricerca archeologica in quel periodo: facilità d'uso, precisione, velocità e riproducibilità del dato raccolto. Si veda FONZA *et al.* 2009, pp. 7-25.

16 Con il termine Realtà Virtuale si intende: una qualsiasi forma di realtà percepita in modo chiaro ed immersivo (un modo per consentire agli utenti di visualizzare, manipolare e interagire attraverso un computer), ma non esistente nel mondo delle tre dimensioni fisiche. Si veda CONGIU 2001.

rivalutazione non solo del modo di indagare, ma anche quello di interpretare i contesti. Ovviamente i punti di vista sono discordanti e c'era chi non era ancora troppo ottimista:

*«l'incontro della ricerca archeologica italiana con la computer science si rivela però un connubio drammatico; provare improvvisamente ad asservire alle esigenze della nostra disciplina gli algoritmi, le applicazioni e le strategie sviluppate nell'informatica pura rappresenta di fatto un'impresa faticosissima» ed «ha colto quasi di sorpresa un ambiente scientifico ancora intento a perfezionare la sua metodologia di ricerca, a focalizzare meglio i suoi obiettivi ed appena uscito dalla grande stagione evolutiva degli anni settanta-primi ottanta»<sup>17</sup>.*

Resta di fatto che l'adozione di sistemi informatici all'interno dell'ambito umanistico era già una realtà destinata ad evolversi. Bastava guardarsi altrove per capire che non sussistevano i motivi per non accogliere e lavorare con queste nuove metodologie, in quanto si dimostravano già di grande utilità in altri ambiti, ad esempio in architettura, ingegneria e design, dove la visualizzazione dei contesti in 3D sin dagli inizi è stata adottata per la progettazione, la verifica e la restituzione dei più diversi ambienti sia reali che concettuali. Gli strumenti più in voga in quella decade e che ancora oggi continuano a dare buoni risultati, anche in ambito archeologico sono i cosiddetti software di disegno grafico, il più famoso di questi è *Autocad*, il quale ha permesso di analizzare, manipolare e produrre immagini in tre dimensioni. In archeologia il programma si è rivelato in grado di effettuare ricostruzioni partendo sia dai dati raccolti nelle prime fasi di ricognizione, sia nelle fasi successive di studio e analisi in laboratorio. Il principale vantaggio è stato quello di poter generare superfici virtuali che permettevano di lavorare con una modalità che non era né distruttiva né invasiva, in grado di proporre ipotesi dell'ambiente archeologico. Uno dei primi in ambito

---

17 VALENTI 1998.

umanistico (antropologico) a riconsiderare la validità di questi processi tecnologici, era stato I. Hodder<sup>18</sup>, che alle soglie del 2000 fece uso di tecniche multimediali e procedure di archiviazione informatica, le quali determinarono un punto di svolta che segnerà in modo definitivo la fine della separazione tra sistemi informatici ed archeologia. Secondo le interpretazioni di A. D'andrea, lo studioso britannico a pienamente regione quando afferma che:

*«l'attività archeologica e in particolare l'attività di scavo non devono considerarsi semplicisticamente come tecniche, ma come una continua produzione di ipotesi e interpretazioni che influenzano e modificano le strategie di indagine sul campo, la realizzazione di piante e disegni digitali alimenta uno scambio continuo e rapido di informazione tra l'equipe sullo scavo e quelle attive in laboratorio fornendo un costante aggiornamento su ciò che viene riscoperto»<sup>19</sup>.*

#### **1.4 Al giorno d'oggi**

Si pone l'accento sulla comunicazione digitale, si fa particolare attenzione ai sistemi di fruizione territoriale a rete, al 3D e al servizio di sistemi guida persino su telefono mobile, quali importanti veicoli di promozione del patrimonio culturale.

La tecnologia, nella forma della digitalizzazione del patrimonio, consente di creare progetti ambiziosi che coniugano la storia, la cultura e la tradizione, rendendo disponibile ad un vasto pubblico quei materiali che altrimenti, anche per motivi di conservazione, non potrebbero essere accessibili e conosciuti.

Siamo arrivati al punto in cui, nel corso degli anni 2000 grazie a quel processo di alfabetizzazione informatica determinato dalla introduzione dei *Personal Computer*,

---

18 HODDER 2000.

19 D'ANDREA 2006, p. 79.

numerosi ricercatori si sono misurati direttamente con la complessità delle soluzioni applicative diventando utenti esperti, mentre lo sviluppo di iniziative avanzate ed innovative sul versante hardware e software resta affidato alla particolare capacità e formazione dei programmatori e degli ingegneri del software. Fortunatamente gli archeologi sono oggi in grado di seguire e dirigere il lavoro degli informatici senza intermediari e senza particolari timori. Questo atteggiamento ha consentito di superare quella netta frattura che aveva caratterizzato fin dall'inizio l'incontro tra i due settori, quello archeologico e quello informatico. Ed oggi, anche se il fenomeno non è ancora del tutto maturato, comincia ad emergere una nuova cultura in cui le due discipline sono contigue e in alcuni casi hanno una sovrapposizione di competenze e *know-how*.

Finalmente la scienza archeologica ha aperto i suoi orizzonti a tal modo che, le diverse branche che hanno a che fare con la tecnologia in ambito archeologico sono numerose e molto produttive, si parla di: archeologia virtuale, archeologia informatica, archeologia computazionale, archeometria, tutte nate da un'aspirazione metodologica che sia in grado di migliorare la verifica e la sintesi dei dati analitici (Fig. 1), ottimizzando la leggibilità dell'opera senza ricorrere ad interventi non reversibili sull'originale indipendentemente dallo stato di conservazione<sup>20</sup>.

Un ottimo esempio della messa in atto di quanto precedentemente esposto è il caso del progetto "ArcheoAtlanti in 3D", si tratta di atlanti virtuali di alcuni siti archeologici inseriti nel loro contesto temporale, territoriale e paesaggistico, consultabili via internet e che rientra nel programma di "Archeologia on line", avviato dalla Direzione Generale per l'Innovazione Tecnologica e la Promozione del Ministero per i Beni e le Attività Culturali nell'ambito dell'attività volte all'utilizzo delle nuove tecnologie per il miglioramento dell'offerta culturale che, come finalità, si propongono di ampliare la fruizione turistico - culturale del patrimonio archeologico, mediante la promozione e l'utilizzo di prodotti di divulgazione basati sulle tecnologie informatiche<sup>21</sup>.

---

20 MALDONADO 2007.

21 L'iniziativa fu promossa nel 2006 per l'VIII Settimana della Cultura, dalla Direzione Generale per l'Innovazione Tecnologica e la Promozione, in collaborazione con la Soprintendenza per i Beni Archeologici del Lazio, in cui hanno si è presentata la conferenza "L'Innovazione Tecnologica al servizio della cultura - Archeoguida di Villa Adriana". Si veda <https://archeoguide.wordpress.com>.

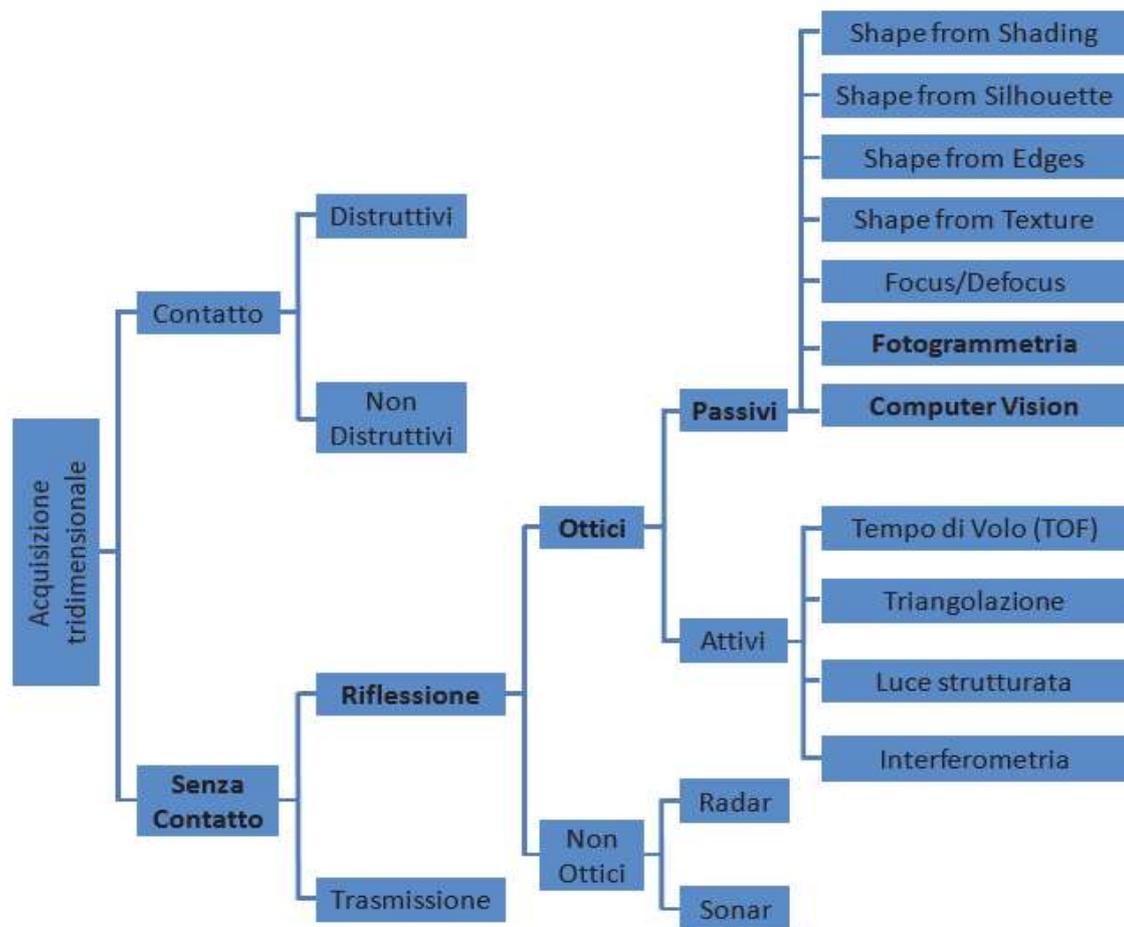


Fig. 1 - Schema delle tecnologie Geomatiche per l'acquisizione 3D (da CURLESS 2000).

A livello istituzionale uno dei casi più emblematici di accettazione delle applicazioni tecnologiche, nel quale si raccolgono in un insieme gli aspetti metodologici e di comunicazione, si può ricordare, quello della creazione nel 2005 dell'Osservatorio tecnologico per i beni e le attività culturali (OTEBAC)<sup>22</sup>, istituito presso la Direzione Generale per l'innovazione Tecnologica e la Promozione con il compito di:

- Sostenere, erogare e svolgere attività di ricerca, monitoraggio, formazione e di aggiornamento in materia di innovazione tecnologica e di qualità dei contenuti dei siti web culturali e delle risorse digitali;

<sup>22</sup> Lettera circolare n. 120 del Ministero per i Beni e la Attività Culturali.

- Divenire centro di competenza per il censimento e la descrizione delle collezioni culturali digitali;
- Divulgare informazioni aggiornate su iniziative ed attività attraverso il proprio sito web;
- Svolgere attività di diffusione e di informazione attraverso pubblicazioni, corsi di formazione conferenze e workshop;
- Stabilire accordi di collaborazione con altri osservatori tecnologici, centri di ricerca e università a livello nazionale ed europeo.

Questi sono solo alcuni esempi del rapporto fruttuoso delle tecnologie con l'archeologia e con i Beni Culturali. Chiudiamo questo paragrafo con uno dei più recenti contributi scientifici in cui storia e tecnologia si incontrano per una visita immersiva e multisensoriale dell'*Ara Pacis* (Fig. 2). L'ARA COM'ERA è il primo intervento sistematico di valorizzazione in realtà aumentata e virtuale del patrimonio culturale di Roma Capitale, nello specifico di uno dei più importanti capolavori dell'arte romana, costruito tra il 13 e il 9 a.C. per celebrare la pace instaurata da Augusto sui territori dell'impero.



Fig. 2 - Progetto di musealizzazione: L'Ara Pacis Com'era<sup>23</sup>.

23 [www.arapacis.it](http://www.arapacis.it).

Sovrapponendo elementi virtuali alla percezione visiva, è possibile assistere ad un racconto multimediale, comprendere l'aspetto originario e la funzione dell'altare e osservare le trasformazioni del Campo Marzio settentrionale, l'area di Roma prescelta da Augusto per celebrare il proprio potere. Il progetto di "ricostruzione iconografica virtuale" incorpora anche una proposta di ricoloritura e ricostruzione delle superfici con cui è stato possibile ristabilire l'unità formale dell'opera scultorea offrendo un'idea più realistica e completa del manufatto<sup>24</sup>.

---

24 ROSSINI 2010.

## 2. Come nasce il 3D?

Questa tecnologia vanta già una discreta storia, che parte con la nascita della stereoscopia nel terzo decennio dell'Ottocento; questa tecnica, fondamento della fotografia e del cinema tridimensionali attuali, si basa sul principio della binocularità della visione umana, grazie alla quale vediamo la realtà nel suo aspetto volumetrico attraverso la sintesi a livello cerebrale delle due diverse immagini percepite da ciascun occhio<sup>25</sup>. Allo stato attuale delle conoscenze, il primo ad aver intuito che si potesse riprodurre in modo artificiale il meccanismo della visione umana è stato lo scienziato inglese C. Wheatstone<sup>26</sup>, che tra il 1832 e il 1838 portò avanti ricerche specifiche e presentò il primo modello di stereoscopio (Fig. 3), con il quale si potevano osservare in rilievo semplici coppie di disegni geometrici dello stesso soggetto ottenuti da due punti di osservazione distanziati quanto i nostri occhi. Il suo lavoro, pur destando grande interesse in ambito accademico, restò però relegato a pura curiosità ottica. Per vederne l'affermazione tra il grande pubblico occorrerà aspettare oltre un decennio, quando, dopo l'avvento della fotografia, lo scienziato scozzese D. Brewster presentò un modello di stereoscopio a lenti molto più piccolo e pratico di quello a specchi di C. Wheatstone, da utilizzare con le immagini fotografiche in luogo dei disegni, in modo che la stereoscopia potesse avere anche un valore pratico (Fig. 4). Dopo il 1870 l'interesse per le immagini stereoscopiche si affievolì a causa del sopravvento della fotografia tradizionale, per ritornare in auge tra la fine del secolo e i primi due decenni del Novecento grazie all'opera di editori specializzati come *Underwood & Underwood* e *Keystone View Company*, che pubblicarono una sorta di "inventario universale in tre dimensioni", in copiosi cataloghi di immagini in rilievo<sup>27</sup>. La stereoscopia, tuttavia, non scomparirà del tutto, ma sarà sfruttata periodicamente per iniziative più o meno

---

25 ZINGARELLI 2010, p. 1743.

26 Per un approfondimento del contributo scientifico di Charles Wheatstone, si consulti <https://archive.org/details/scientificpaper00londgoog>. Portale della *Physical Society* di Londra in cui furono raccolte e pubblicate le sue opere.

27 Il risultato di tale pubblicazione è oggi consultabile in rete sul sito web dell'*University of Washington*, nella sezione *Stereocard Collections*.

significative in abito editoriale e cinematografico. Meritano di essere citate al riguardo la produzione dell'editore O. Schönstein<sup>28</sup>, il quale in Germania negli anni '30-'40 del Novecento, ebbe un'eccezionale successo col sistema *View Master*<sup>29</sup> (Fig. 5). Dal 1939 il sistema è ancora oggi in uso, però con la diffusione dei nuovi mezzi di comunicazione perse gradualmente interesse e la promettente stagione del cinema in tre dimensioni di quei decenni del Novecento, si è vista conclusa per le notevoli problematiche relative alla standardizzazione delle apparecchiature e dei formati di ripresa e proiezione cinematografici.

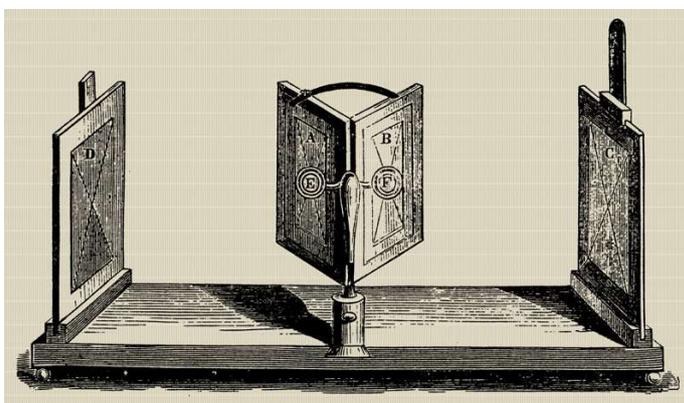


Fig. 3 – Illustrazione Stereoscopio a specchi di Charles Wheatstone.

Fig. 4 – Due tipi di stereoscopi ottocenteschi: lo stereoscopio Holmes e lo stereoscopio Brewster (foto di Dieter Albers).



28 Si tratta di 40 delle 200 stereografie pubblicate nel 1940 dall'editore tedesco Otto Schönstein, in due volumi dedicati, rispettivamente, all'occupazione della Polonia e dell'Occidente da parte delle truppe di Hitler. Consultabile anche sul sito <http://www.archiviostereoscopicoitaliano.it>.

29 Il *View Master* è un sistema di visione stereoscopica inventato da William Gruber e commercializzato per prima dalla *Sawyer's Photographic Service* nel 1938. si veda GUADAGNINI 2000, pp. 48-52; D'ANNIBALE 2003; [www.vmresource.com](http://www.vmresource.com).



Fig. 5 View Master, (modello anni '50)

Oggi, grazie al rapido sviluppo tecnologico, l'industria sta proponendo soluzioni di visualizzazione in 3D sempre più performanti e sempre più alla portata di tutti, e anche diversi ambiti scientifici, tra cui quello culturale, stanno riscoprendo il fascino dell'immagine in rilievo. Con queste premesse si può ipotizzare che il ruolo della stereoscopia sarà sempre più significativo rispetto alle altre tecnologie di rappresentazione nell'ambito della comunicazione audiovisiva.

Sulla questione della nascita del 3D, oltre agli elementi precedenti, troviamo quello più specifico della realizzazione del modello digitale vero e proprio, che comporta una strategia creativa ma soprattutto conoscitiva, la modellazione rappresenta solo il primo anello di una catena di operazioni rivolte a restituire un bene, che può essere sia architettonico sia archeologico, nella sua completa o quasi integrità<sup>30</sup>.

Nello specifico, la percezione della tridimensionalità concessa agli oggetti, sarà data dalla rappresentazione degli stessi attraverso la proiezione, l'illuminazione e l'ombreggiatura, che poi nella scena virtuale andranno ad abbinarsi alle caratteristiche

---

30 BORRA 2000.

fondamentali delle tre dimensioni (larghezza, altezza e profondità) e sono comunque aspetti regolabili a seconda del lavoro che si intenda fare.

Ormai con i software attualmente in circolazione, questo modello può essere generato come vedremo, da sofisticati ma non troppo complessi programmi di grafica, e da elementi di uso più comune, come le macchine fotografiche compatte o Reflex (o addirittura anche da smartphone) mediante cui realizzare direttamente rilievi digitali<sup>31</sup>. Da ricordare che in archeologia, come nel restauro (non solo virtuale) il rilievo è un'azione di documentazione propedeutica a qualsiasi intervento e rappresenta non soltanto una traduzione grafica ma anche, e soprattutto, un'azione conoscitiva preliminare e necessaria allo studio di qualsiasi manufatto<sup>32</sup>.

La stereoscopia però, è solo uno degli elementi che compongono l'insieme di tecniche che ci consentono di arrivare ad una esperienza di visualizzazione tridimensionale, gli altri elementi fondamentali di cui si parlerà in queste pagine come protagonisti del progetto della presente tesi sono: la fotografia digitale e più specificamente la fotogrammetria.

---

31 Per rilievo digitale si deve intendere il complesso di tutte le operazioni di misurazione necessarie alla rappresentazione e alla restituzione metrica in scala, su un supporto, appunto digitale di un determinato bene. Si veda RUSSO *et al.* 2011.

32 GIULIANI 1994.

### 3. La fotografia digitale e la fotogrammetria

La fotografia in sé costituisce uno dei principali mezzi per descrivere, documentare e pubblicare nel modo più fedele possibile diverse situazioni e realtà archeologiche e non solo. Quella digitale poi, consente di ottenere una grandissima quantità di immagini di alta risoluzione che hanno il pregio di poter essere memorizzate su supporti magnetici o elettronici. Rispetto alle classiche macchine analogiche uno dei sostanziali cambiamenti introdotti dal digitale, è dato dal formato in cui vengono immagazzinate le immagini, si è passati dalla pellicola ai diversi supporti e tipologie file, i quali permettono un immediato o anche successivo controllo della foto acquisita e di altre caratteristiche tecniche attraverso lo schermo incorporato nella macchina fotografica.

La creazione di una foto digitale non è finita senza un passaggio di post-produzione. Questo si fa ancora più evidente in proposito alla fotogrammetria, in quanto la manipolazione dell'immagine raggiunge un grado di percezione superiore a quello predisposto per uno scatto normale. Con questa tecnica andremo ad aggiungere una collocazione specifica nello spazio, alle coordinate X, Y, si accomuna la coordinata Z, la quale conferisce una volumetria mancante nelle rappresentazioni bidimensionali.

La fotogrammetria è una tecnica di rilievo che permette di acquisire dei dati metrici di un oggetto (forma e posizione) tramite l'acquisizione e l'analisi di una coppia di fotogrammi stereometrici. Secondo una definizione moderna: "l'arte di trasformare immagini in modelli 3D"<sup>33</sup>: non ci si accontenta più infatti di ottenere una semplice immagine, ma si cerca di ricavare i dati metrici attraverso l'uso di una macchina fotografica, si punta sempre più spesso alla riproduzione digitale fedele (anche detta *reality-based*) del manufatto ripreso. Si tratta di una tecnica in grado di unire precisione ed affidabilità, dando luogo a quella che in statistica viene definita accuratezza<sup>34</sup>: tuttavia per ottenerla è necessario ancora oggi l'intervento manuale dell'operatore,

---

33 CABRUCCI 1999.

34 L'accuratezza indica quanto il risultato si avvicina al valore vero dal parametro di riferimento. Si veda *Acheologia virtule* 2012.

nonostante il passo in avanti fatto dalle applicazioni interamente automatiche di alcuni sistemi informatici. Parliamo di una modalità di rilievo digitale di alta precisione tutto sommato a basso costo, visto che ottimi risultati si ottengono con una spesa inferiore a quella di una buona stazione totale, per non parlare dei laser scanner 3D.

La questione finanziaria non è da sottovalutare in quanto la diversa gamma di apparecchiature di cui si potrebbe disporre oggi come in passato, ovviamente non è per tutte le tasche, l'uso di strumenti per la grafica e per la generazione di modelli in 3D mediante questo metodo è stato inizialmente limitato ad alcuni settori, tra cui istituti specializzati in ricerca, università e simili, questo dovuto ai costi elevati per la loro acquisizione. Fortunatamente i tempi cambiano, i sistemi si evolvono e le possibilità d'acquisto e operabilità sono cambiate.

Nell'ambito di questa disciplina si distinguono inoltre due fondamentali settori di applicazione che richiedono, in particolar modo per quanto riguarda la fase di acquisizione delle immagini, differenti attrezzature, metodologie e competenze: la fotogrammetria aerea contempla la documentazione del territorio e l'acquisizione delle immagini avviene per mezzo di camere installate su aeromobili; e poi quella di cui ci occupa in questo progetto di tesi, la fotogrammetria terrestre, che utilizza camere posizionate a terra. Mediante la prima si possono ottenere risultati di grandissima importanza per lo studio del territorio, infatti è una scienza in fermento già da diversi anni nell'ambito di ricerca della archeologia medievale e in ambito topografico<sup>35</sup>; la seconda più adatta allo studio degli alzati e delle strutture murarie, torna utile e di gran valore anche nella rappresentazione delle sculture e ad altri manufatti di piccole dimensioni.

Gli elaborati realizzati al computer per mezzo di un programma di fotogrammetria possono essere stampati su fogli di carta e si atterranno pertanto alle medesime convenzioni grafiche. La differenza sostanziale rispetto alla tecnica tradizionale sta nel fatto che i software di fotogrammetria consentono di disegnare direttamente in tre dimensioni.

---

35 GELICHI, NEGRELLI 2008; CAMPANA *et al.* 2005.

A titolo informativo mi limiterò in questo capitolo ad accennare che per la realizzazione di modelli 3D acquisiti da semplici immagini fotografiche, esistono moltissimi programmi che consentono di ottenere immagini 3D da una serie di fotografie scattate con una comune fotocamera digitale. Senza dover collocare sul soggetto speciali marcatori e senza dover allineare centinaia di punti di riferimento manualmente (viene fatto in automatico), i risultati si possono definire pienamente soddisfacenti. In minima parte è merito della tecnologia digitale oggi disponibile a basso costo, ma l'elemento fondamentale è l'estrema sofisticazione degli algoritmi del riconoscimento dell'immagine. Il procedimento di scansione sviluppato a partire da una serie di immagini produce una discreta *mesh* (geometria o maglia a rete 3D) ed un'eccellente mappa di *texture* (la qualità di quest'ultima dipende dalle caratteristiche dell'apparecchio fotografico utilizzato). Il risultato parziale sarà un modello 3D "navigabile" (che possa essere ruotato, scalato, spostato, orientato), è composto da una *mesh* e in alcuni casi e da una mappa di *texture* applicata alla *mesh*, in altre parole, le caratteristiche dell'oggetto (rugosità, volumetria, colore, etc.) vengono trasferiti all'immagine, dando al risultato tridimensionale un aspetto più realistico, questi, però sono concetti che verranno riproposti nella seconda parte della tesi.

La fotogrammetria è ad oggi, frequentemente utilizzata nel campo dei Beni Culturali per la documentazione, la conservazione e la tutela di manufatti artistici e di superfici architettoniche di particolare interesse. La documentazione ottenuta quindi, fornisce modelli facilmente misurabili e consente di evidenziare le trasformazioni dimensionali subite nel corso del tempo dall'oggetto a causa di fenomeni e processi fisico-chimici più o meno spontanei<sup>36</sup> (Fig. 6).

I modelli riprodotti sono inoltre ideali per la pubblicazione su siti web, per la divulgazione scientifica e per il *rendering* 3D. Questa tecnologia a basso costo, che non

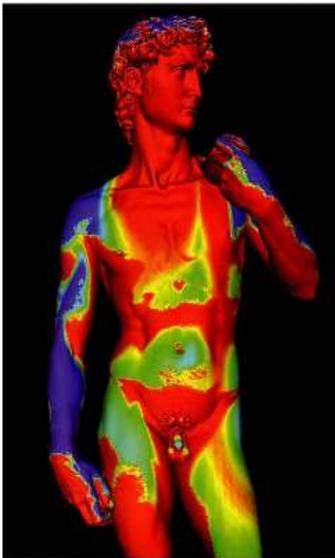
---

36 Si fa riferimento al progetto di restauro del David di Michelangelo. A partire dal 2003, l'opera è stata sottoposta ad un accuratissimo lavaggio e restauro a cura del laboratorio di restauro dell'Opificio delle pietre dure di Firenze in collaborazione con VCLab. Questo lungo lavoro è stato realizzato per celebrare il cinquecentenario della realizzazione dell'opera nel 2004. Il Progetto Michelangelo è un progetto di ricerca che si avvale della documentazione, del rilievo e della modellazione 3D, avente come programma l'aggiornamento del quadro documentario, la divulgazione e la valorizzazione dell'opera di Michelangelo. Si veda <http://graphics.stanford.edu>.

richiede investimenti hardware (con il presupposto che fotocamere digitali siano già disponibili), offre la possibilità di riprendere pressoché qualsiasi materiale, di qualsivoglia dimensione, in qualsiasi condizione di illuminazione, in interni e in esterni, con i soli limiti imposti dall'ottica dell'apparecchio fotografico.

Vale la pena di sottolineare che non si tratta di una tecnica in concorrenza o alternativa a quelle citate, ma semplicemente di una ulteriore tecnica da tenere in considerazione a seconda delle situazioni nelle quali si andrà ad operare, quindi da integrare con altri tipi di rilievi.

Valutazione dell'esposizione agli agenti atmosferici quali pioggia o polvere: simulazione e visualizzazione con una scala a falsi colori



**The Digital Michelangelo Project**  
(1998-2004)

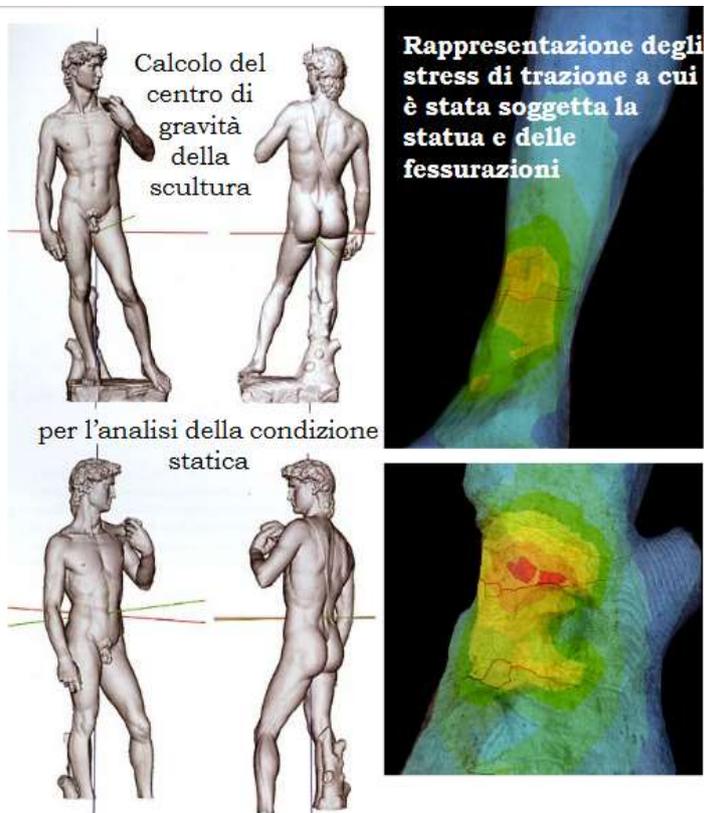


Fig. 6 - Progetto Michelangelo (da <http://graphics.stanford.edu>).

## 4. Comunicare in archeologia

Il quadro seppur brevemente delineato di come le tecnologie artificiali siano entrate a far parte della nostra vita, ci porta a renderci conto che, in ambito archeologico l'utilizzo sempre più diffuso delle tecnologie digitali ha aperto nuove possibilità di ricerca. Testimonianza di tutto ciò, è soprattutto dovuto al passaggio dell'informatica da supporto per la gestione e la documentazione dei dati a strumento per la produzione e l'analisi dei dati stessi<sup>37</sup>. Sin dall'inizio si è voluto sottolineare l'importanza di non limitarsi ad un uso esclusivamente scientifico del dato archeologico, augurando un sempre più diffuso utilizzo delle applicazioni tecnologiche per far conoscere il lavoro svolto dall'archeologo.

In Italia uno dei tanti aspetti che ha portato gli addetti ai lavori in ambito archeologico a incorporare nelle diverse fasi della ricerca i concetti precedentemente esposti, quindi: computer, 3D e comunicazione in ambiente archeologico, è stato da una parte, la risaputa importanza che ha la pubblicazione dei risultati delle suddette ricerche sia in ambito propriamente scientifico, sia in ambito pubblico. Non dobbiamo dimenticare che l'obiettivo più importante di una qualsiasi ricerca è la divulgazione del sapere, della riscoperta di quel Patrimonio Culturale che deve appartenere alla comunità, e se lo si fa in modo che tutti possano capire, interagire, e parteciparne in modo attivo, tanto meglio. In proposito, possiamo fare riferimento alle parole degli studiosi e archeologi M. Brittain e T. Clack, i quali, con una semplice ma forte frase: "*publish or perish*", trasmettono il senso dell'ideologia che dovrebbe stare alla base di tutti gli sforzi compiuti dagli studiosi per la realizzazione di un progetto di ricerca. Si tratta di un concetto molto chiaro, che fa riferimento all'incremento delle possibilità di successo degli argomenti scientifici partendo da una base: pubblicare le scoperte per evitare di vanificare il lavoro, ma la pubblicazione deve avere possibilmente una caratteristica, ovvero, la semplicità di espressione. I due studiosi scrivono che l'utilizzo di una scrittura creativa deva essere la norma per rendere i dati raccolti comprensibili anche ai

---

<sup>37</sup> LIMONCELLI 2012, pp. 17-26.

non addetti ai lavori (quindi rivolto anche a un grande pubblico, curiosi alle prime armi o ai cultori della materia) interessati a capire o ad approfondire gli argomenti trattati. In questo modo l'archeologia smetterebbe di essere percepita come un quadro, per lo più astratto e incomprensibile che bisogna guardare da lontano e che in realtà pochi sono in grado di capire<sup>38</sup>. In questo senso, il discorso di apertura con cui M. L. Gualandi presentò nel 2014 un contributo sulla comunicazione in archeologia<sup>39</sup>, lascia chiare quali siano le sensazioni ancora una volta condivise nel settore scientifico, nonostante lo sforzo di alcuni per svecchiare la metodologia di ricerca archeologica:

*«Avendo gli uomini come oggetto di studio, come potremmo non avere la sensazione di compiere solo a metà il nostro compito, se gli uomini non riescono a comprenderci?»<sup>40</sup>.*

I tentativi per migliorare queste mancanze di comprensione sono stati senz'altro fatti e ci sono a riguardo una serie di testi, workshop, incontri, convegni, seminari, ecc., che documentano questi propositi. Sarebbe faticoso e poco adeguato cercare di menzionare la totalità dei lavori che nel corso degli anni sono stati pubblicati, ad ogni modo, questi importanti contributi sono stati fondamentali per sottolineare il bisogno di amplificare gli orizzonti della conoscenza nel settore umanistico, mediante l'ideale del sapere enciclopedico che ha accelerato man mano i processi di specializzazione degli studiosi.

Queste premesse ci portano a pensare che oggi l'archeologo oltre al saper padroneggiare la propria materia di studi, dovrebbe fare un ulteriore sforzo per decodificare i concetti archeologici, in concetti più immediati. Uno dei modi per rendere ciò una realtà più tangibile, è tradurre l'archeologia scritta in archeologia visuale. Per quanto sia un compito per lo più destinato ai comunicatori ed ai divulgatori che meglio di uno scienziato conoscono il linguaggio adatto per rapportarsi con il pubblico, bisogna

---

38 CLACK, BRITAIN 2007, pp. 28-34.

39 GUALINDI 2014.

40 BLOCH 1998, p. 67.

essere consapevoli che anche nella formazione dell'archeologo è indispensabile una preparazione che gli consenta di comunicare in modo divulgativo liberandolo dalla necessità di improvvisare adattamenti del lavoro già concluso (da tener presente che questa operazione può essere fatta a partire dai dati grezzi e non soltanto dai dati elaborati e pubblicati). La condivisione dei dati già a partire dallo stato grezzo consentirebbe di arricchire la ricerca e di verificare la validità del processo analitico. Se pensiamo ai modi di comunicazione odierni per la transizione ad una archeologia visuale, finalizzata la fase di studio e di strutturazione dei dati, ci rendiamo conto che attualmente si può ricorrere a concetti che confluiscono in un insieme tra metodo ed innovazione, i quali aprirebbero vastissime opportunità per la ricerca stessa, per la rappresentazione, per la didattica, per la valorizzazione, per la divulgazione, per la salvaguardia, per la fruizione del Bene Culturale, ovvero per l'intero sistema della tutela del patrimonio<sup>41</sup>.

La domanda sorge spontanea: quali sono i migliori modi di comunicazione? A livello museale ad esempio, basta pensare all'apparato comunicativo del Museo dei Fori Imperiali (Fig. 7), il quale si compone, oltre che della tradizionale pannellistica contenutistica e direzionale, di un ricco sistema multimediale che accompagna il visitatore e lo aiuta alla comprensione, attraverso una comunicazione semplice e immediata, specie negli snodi contenutistici focali del percorso espositivo.



Fig. 7 – Sala introduttiva al foro di Augusto, esempio di presenza di pannelli didattici e prodotti multimediali.

---

41 *Archeologia Virtuale* 2012.

A tale scopo si è utilizzata una tecnica mista, un sistema di montaggio che fa uso di tutte le potenzialità comunicative dell'immagine: dalla ripresa diretta, alle foto d'epoca, alle ricostruzioni archeologiche realizzate ad acquerello e anche al 3D e alle più evolute tecnologie per l'elaborazione dell'immagine<sup>42</sup>.

Ovviamente un eccesso di informazione che vive ai margini del caos non è detto che produca conoscenza e, se lo fa, deve costruire un adeguato processo di comunicazione; «senza contesto non c'è comunicazione» come ci insegna G. Bateson, senza comunicazione non c'è conoscenza. Si può dedurre che il processo comunicativo, comporta un certo dinamismo e l'informazione non può essere neutrale, perché dipende dalle sue relazioni, dall'elaborazione e dalla conseguente percezione, il processo di conoscenza e comunicazione dovrebbe essere unico e rappresentato da un solo vettore. Quindi è chiaro che le metodologie, le tecniche e le tecnologie che utilizziamo sin dalle prime fasi di acquisizione di dati sul campo influenzano in modo determinante tutte le fasi di interpretazione e di comunicazione<sup>43</sup>.

---

42 [www.mercatiditraiano.it](http://www.mercatiditraiano.it).

43 BATESON 1972.

## 5. Possibilità e limiti del 3D

Sin ora si è cercato di dimostrare che i modelli e le rappresentazioni tridimensionali potrebbero essere un valido strumento in grado di comunicare e veicolare una maggiore quantità di informazioni senza trascurare gli aspetti qualitativi e metodologici, in alcuni casi migliorando l'esperienza conoscitiva oltre i confini scientifici.

Se aumentiamo il coinvolgimento dei nostri sensi aumentiamo la differenza fra noi e l'ambiente, in modo da acquisire maggiore informazione. Partendo dall'aspetto fotogrammetrico, possiamo dire che, mediante l'esperienza tridimensionale avremmo la possibilità di fornire informazioni di carattere metrico e dello stato di "salute" delle superfici indagate; metodologicamente parlando, l'esperienza tridimensionale è un aspetto che ci permette di integrare l'insieme degli strumenti per la diagnostica, unendo allo stesso tempo l'utilità legata alla documentazione fotografica. Parallelamente all'ambito del restauro, l'applicazione delle tecnologie digitali e l'applicazione di strumenti per generare ambienti di studio tridimensionali si è estesa, più o meno in contemporanea, anche nel campo archeologico dove ha preso il nome di Archeologia Virtuale. Questo tipo di Archeologia, nasce con un ruolo didattico-divulgativo attraverso ricostruzioni di monumenti, città e territori con l'obiettivo di comunicare il Patrimonio Culturale antico in modo efficace, rapido e ripetibile mediante informazioni su aree, ambienti ed oggetti ancora esistenti ma indisponibili, o scomparsi, inserendoli all'interno dei propri contesti di riferimento, al fine di consentire una corretta lettura del passato, utilizzando strumenti di fruizione immediata per il largo pubblico. Nell'Archeologia Virtuale, così come nel Restauro Virtuale, la possibilità di impiegare tecnologie informatiche si è caratterizzata sia per un elevato impatto comunicativo e di apprendimento, sia per un'elevata qualità scientifica e di contenuti culturali. Entrambe queste discipline hanno molti tratti comuni e possono essere applicate agli stessi campi della ricerca archeologica attraverso il 3D: dalla ricostruzione di manufatti architettonici parzialmente conservati ai reperti ceramici, dagli affreschi ai mosaici, dalle sculture fino ai documenti librari ma, ad esempio, il restauro virtuale non si occupa di ricostruire

contesti paesaggistici e ambientali che, invece, rientrano negli ambienti dell'Archeologia Virtuale. Dobbiamo quindi immaginare che lo scopo del 3D sia lo studio ricostruttivo dei manufatti secondo principi, metodi e tecniche derivati dal restauro virtuale, attraverso l'Archeologia Virtuale invece, va ad integrare soprattutto le modalità di divulgazione e comunicazione con l'ausilio dei sistemi di realtà virtuale aumentata (*Augmented Reality*<sup>44</sup>). Questi sistemi utilizzano tutti i media disponibili e impiegano a loro volta sistemi di visualizzazione "immersivi e semi-immersivi", come teatri virtuali con sistemi di visione stereoscopica e interfacce o piattaforme multimediali che permettono una fruizione da parte dell'utente sia on-line sia off-line, da usare su dispositivi mobili oppure su computer<sup>45</sup>.

Naturalmente non ci sono solo pregi nell'adozione e la messa in pratica delle restituzioni tridimensionali. Come si è accennato in precedenza, uno degli aspetti critici dell'impiego di elaborazioni 3D in archeologia è, il fattore economico: l'elevato costo dei software commerciali induce a ricercare sempre di più nei vantaggi offerti dagli strumenti *open source* le soluzioni adeguate alle necessità della comunicazione scientifica e divulgativa. Un'altra difficoltà riguarda l'aspetto più propriamente tecnico, per cui spesso l'archeologo non possiede le conoscenze necessarie per un utilizzo avanzato delle nuove tecnologie e si trova a dover demandare la realizzazione di un progetto ricostruttivo agli esperti nel settore del 3D *imaging*. Ciò di cui si avverte la mancanza, in effetti, è una formazione universitaria che contempra anche la trasmissione di un sapere tecnico da poter applicare nei contesti archeologici e che permetta una migliore integrazione tra i profili professionali di ambito archeologico e informatico, soprattutto per garantire metodi e risultati della modellazione 3D scientificamente fondati<sup>46</sup>.

---

44 E' una rappresentazione tridimensionale generata dal computer, con diversi gradi di affinità con l'ambiente reale, da un abbozzo schematico degli oggetti fino al fotorealismo, in cui è possibile agire interattivamente con l'ambiente e gli oggetti. In realtà, è un concetto relativamente nuovo ed in costante evoluzione, non esiste una definizione univoca e chiara per il termine "realtà aumentata". In generale, la Realtà Aumentata (*Augmented Reality* o AR) è la rappresentazione di una realtà alterata in cui, alla normale realtà percepita attraverso i nostri sensi, vengono sovrapposte informazioni sensoriali artificiali/virtuali.

45 FORTE *et al.* 2004, pp. 325-334.

46 SEMENARO 2009.

Per meglio sintetizzare quali sarebbero i pro e contro dell'utilizzo del 3D, passiamo ad elencare appunto, possibilità e limiti.

### **Possibilità:**

- Oltre all'ambientazione in generale in cui viene calata una ricostruzione, grande importanza viene conferita a tutti quei segni del tempo che caratterizzano normalmente qualsiasi oggetto e lo rendono "vivo": le lesioni (crepe, opacità), le imperfezioni;
- rappresenta un buon modo per la condivisione e la pubblicazione dei risultati della ricerca, ad un costo inferiore rispetto ai metodi tradizionali;
- Permette di ricreare gli elementi essenziali dell'immagine dell'oggetto di studio, ovvero, luce ed ombra per una miglior comprensione: la luce permette ai colori (se ancora vi rimane traccia) di accendersi o digradarsi mentre l'ombra colloca nello spazio gli oggetti, aggiunge contrasto o addirittura mostra cose che non sono visibili nell'immagine;
- La quantità di dettaglio sulle superfici aumenta o riduce la percezione degli oggetti nella scena;
- Può superare il limite documentario dei dati archeologici raccolti, evitando la completa impossibilità di entrare in contatto con il contesto di ritrovamento che può essere scomparso o non più accessibile;
- Permette di rendere più accessibile le opere d'arte che sono giunte fino a noi e che, per la loro natura materiale, sono destinate a degradarsi nel tempo e lo fa senza danneggiare l'opera stessa, ciò è possibile perché non si tratta di un intervento non reversibile o che produrrà effetti collaterali. Di conseguenza l'intervento digitale non ha vincoli legati al particolare materiale di cui è composta l'opera;
- Offre la possibilità di praticare, prima dell'azione diretta sul bene, interventi di restauro virtuale che consentano l'analisi e la valutazione comparativa delle

varie ipotesi progettuali e quindi la scelta della soluzione più efficace di recupero o di ricostruzione di parti scomparse o modificate;

- Al pari della fotografia scientifica, il 3D offre una corretta restituzione cromatica e mira all'assenza di deformazioni ottiche e prospettiche;
- Nasce da una piena e precisa conoscenza dell'oggetto, che si ottiene tramite la ricerca archeologica "tradizionale": approfondita analisi bibliografica, puntuale analisi iconografica, analisi e rilievo del manufatto;
- Apre vastissime opportunità per la ricerca, per la rappresentazione, per la didattica, per la salvaguardia, per la fruizione del Bene Culturale;
- Si possono ottenere rappresentazioni con un alto valore e contenuto geometrico (fotorealismo), attraverso modalità *low cost*, mediante le quali si ottiene una maggiore flessibilità di utilizzo;
- Nella maggior parte dei casi la restituzione computerizzata fornisce delle informazioni leggibili e gestibili su sistemi operativi diversi;
- Consente di valutare quantitativamente ciò che prima era valutato solo qualitativamente, inoltre rende visivo e continuo ciò che prima era campionato e numerico;
- Permette la creazione di un ambiente di studio collaborativo;
- Un altro campo di applicazione è l'assemblaggio digitale di opere frammentate o divise in pezzi, dunque potrebbe essere la soluzione a problemi di ricostruzioni molto complesse.

#### **Limiti:**

- Non tutti i programmi di grafica computerizzata sono predisposti per ricevere dati informativi, sviluppandone automaticamente disegni reali. Infatti il più delle volte i grafici riproducibili sono di tipo semplificato ed in 2D. Per conferire

volumetrie, ombreggiature, coloriture, etc., è necessario ricorrere a programmi ausiliari, compatibili contemporaneamente con i dati grafici di origine;

- Non vi sono oggi, a dispetto di una serie di sforzi certamente fatti negli ultimi anni, chiari standard relativi ai dati, mentre vi sono, in maniera abbastanza frequente, problemi di incompatibilità di formati quando i record sono già digitalizzati. Tutto questo rende difficile o impossibile analizzare database di origine differente, anche se i contenuti sono similari;
- L'aggiunta della terza dimensione non è una semplice estensione di una dimensione su un sistema bidimensionale, ma implica problematiche che riguardano vari aspetti: un differente concetto di rappresentazione e strutturazione dei dati;
- Nello sviluppo dei modelli 3D manca la definizione delle tecniche più appropriate per archiviare, manipolare e visualizzare dati tridimensionali. Infatti uno stesso modello costruito da differenti operatori potrebbe presentare caratteristiche differenti<sup>47</sup>;
- Nonostante ci siano validi programmi di rilevamento automatico degli oggetti (particolarmente costosi), il lavoro manuale rimane predominante.

Emerge chiaramente come non esista un singolo procedimento in grado di soddisfare contemporaneamente i parametri di economicità, rapidità di acquisizione, elevata accuratezza geometrica, flessibilità, piena automazione, facilità di trasporto e di fotorealismo. Pertanto l'integrazione delle differenti tecniche, insieme a ricognizioni sul campo finalizzate all'acquisizione delle informazioni basiche dell'oggetto, costituiscono la soluzione ottimale. Le possibilità ed i limiti della rappresentazione tridimensionale ci danno anche uno spunto per riflettere, per porsi domande e cercare le dinamiche per

---

<sup>47</sup> È opportuno segnalare che uno dei primi tentativi di normalizzazione del processo di modellazione tridimensionale, è stato compiuto da Livio De Luca nel 2007, il quale ha presentato un approccio metodologico nella descrizione semantica degli elementi architettonici basato sulla propria esperienza di ricerca a Pompei; si veda DE LUCA *et al.* 2007.

costruire le risposte più adatte a quello che ognuno di noi fa. Innovazione non è solo crescita tecnologica e progresso luccicante: ci sono da creare competenze a partire dalla formazione di base (riguardante l'ambito universitario), c'è una nuova dimensione pubblica e non intellettuale dell'archeologia ancora tutta da pensare.

## 6. I software low cost e *open source*

La scelta del software dipende da un insieme complesso di fattori, in termini non solo di budget, ma anche di livello e grado di dettaglio desiderato dell'oggetto da rilevare al quale si vuole arrivare. Si è accennato prima, come in commercio ci siano al giorno d'oggi un'infinita di programmi computazionali che garantiscono buoni risultati per generare modelli tridimensionali. In questa sede si cercheranno di individuare alcuni di questi programmi e più nel dettaglio si tenterà di analizzare le prestazioni dei cosiddetti software *low cost* et *open source* più comunemente utilizzati nell'ambito dei Beni Culturali. Vediamo quindi nello specifico cosa si intende con questi due anglicismi:

**Software *low cost*** è un termine utilizzato in molti ambienti, ma riferito all'ambito dei beni culturali e più specificamente all'ambiente umanistico, è da intendersi come un insieme di sistemi o programmi di gestione dei dati, dotati di un ampio margine di impiego e altamente accessibile in termini economici. Molti di questi sistemi sono già da anni in uso in questa area scientifica, basti ricordare il più diffuso Sistema Informativo Territoriale (o GIS)<sup>48</sup>. Per quanto riguarda l'argomento del 3D, il settore dei software GIS è forse quello che nell'ultimo decennio ha conosciuto il maggiore progresso tecnologico, sviluppando strumenti di modellazione 3d, in particolare per i modelli digitali del terreno, funzionalità di navigazione in tempo reale, modalità di acquisizione dei dati che provengono dalle più evolute forme di rilevamento del territorio (GPS, laser-scanner, telerilevamento) e di interazione con i programmi di gestione di tali dati in una piena integrazione con il web.

**Software *Open Source*** è un nuovo termine, definito recentemente per descrivere quel software che è disponibile al pubblico in forma di codice sorgente<sup>49</sup> e che non ha nessun

---

48 Il Sistema Informativo Territoriale, meglio conosciuto come GIS (*Geographic Information System*), è un sistema in grado di ricevere, immagazzinare, elaborare, analizzare, gestire e rappresentare dati di tipo geografico. Nel settore archeologico i GIS si sono imposti prevalentemente nell'ambito delle indagini e della documentazione del territorio. Si veda ZIVIANI 1994.

tipo di restrizione di licenza che ne limita l'uso, la modifica e la redistribuzione, di conseguenza è uno strumento utilizzabile e personalizzabile da tutti gli utenti interessati. Attualmente, grazie allo sviluppo della capacità dei processori e al potenziamento dei sistemi di memoria, esistono una varietà di software che ci permettono di realizzare ricostruzioni in ambientazioni tridimensionali, in cui gli oggetti vengono generati da un paio di fotografie o da un foto-mosaico. Si tratta di riprese in serie che successivamente vengono restituite in un modello volumetrico. I più recenti aggiornamenti di sistema hanno alleggerito il processo di ricomposizione facendo risparmiare il tempo di modellazione. I programmi che seguono questo tipo di protocollo di trasformazione del dato sono numerosi, i più rinomati sono: *Autodesk 123D Catch*, *Automatic Reconstruction Conduit (ARC 3D)*, *Bundler*, *Phomodeler Scanner (Eos System Inc)*, *PhotoScan (Agisoft)*, *Photosynth*, *VisualSFM*. Il vantaggio di questi software risiede nel fatto che l'operazione avviene in modalità semi-automatica. Oltre a queste caratteristiche vale la pena sottolineare che non è necessario aver maturato una grande esperienza nell'ambito della modellazione grafica, in quanto la maggior parte di essi possono essere utilizzati da operatori con nozioni base.

Tornando però all'argomento dei software low cost per la riproduzione tridimensionale, abbiamo a disposizione numerose soluzioni gratuite e a basso costo, che riguardano il cosiddetto *SfM*<sup>50</sup> (*Structure From Motion*). In particolare in questo capitolo ci soffermeremo sulle sei alternative più diffuse: *Python Photogrammetry Toolbox*, *VisualSfM*, *123D Catch*, *ARC3D*, *PhotoScan (Standard Edition)* e *3D Zephyr Lite*. Dei primi cinque si farà solo un accenno delle principali caratteristiche, mentre l'ultimo sarà menzionato e messo alla prova nella parte operativa/sperimentale, ovvero nel secondo

---

49 Il codice sorgente di un software è il programma scritto in un linguaggio di programmazione comprensibile all'essere umano e che contiene le istruzioni impartite al calcolatore. Una sorta di DNA del software. Conoscere il codice sorgente è utile soprattutto agli utenti più avanzati, che possono: accedere alla struttura logica del programma e modificarla o integrarla con soluzioni e funzioni personalizzate, correggere *bugs* (errori di programmazione), far girare un applicativo sotto più sistemi operativi. Inoltre, nei software *open source* la disponibilità del codice sorgente rappresenta l'elemento essenziale del contratto di licenza.

50 La *SfM* è una tecnica che permette di ricostruire in modo automatico una scena tridimensionale partendo da un set di immagini digitali bidimensionali; differisce sostanzialmente dalla fotogrammetria convenzionale in quanto non prevede alcun intervento umano nel processo. È sufficiente procedere alla ripresa fotografica di un oggetto sovrapponendo l'immagine ripresa precedente nell'ordine del 60% o 80%, creando così un foto-mosaico.

capitolo del presente lavoro dedicato alla modellazione tridimensionale del “Galata in ginocchio” e di altri casi di studio.

## **6.1 Python Photogrammetry Toolbox (PPT)**

Questo programma applicativo è stato realizzato da Pierre Muloun della *Mikros Image* e Alessandro Bezzi della *Arc-Team* sviluppata per lavorare al meglio sui sistemi GNU/Linux, ma è disponibile anche per Windows, dove però è in grado di elaborare immagini non oltre i 2.500 pixel di larghezza (ca. 5 MP). Il tempo totale di trattamento automatico delle immagini dipende dalla potenza dell’hardware a disposizione e dal numero di immagini, ma in generale è piuttosto elevato soprattutto se le immagini da elaborare, come indicato dal produttore<sup>51</sup>, sono numerose. Molti esempi nel campo dei Beni Culturali sono a disposizione in rete o sono stati pubblicati negli ultimi anni, fra questi spicca quello del Centro di GeoTecnologie dell’Università degli Studi di Siena<sup>52</sup> (CGT), una delle Università italiane più impegnate nell’applicazione di tecnologie in ambito archeologico, la quale nel 2012 nell’ambito di una campagna di scavo<sup>53</sup> si è proposta di sperimentare il passaggio dal software commerciale verso una soluzione a basso costo con l’obiettivo di dimostrare come non sia ormai più necessario ricorrere a tecnologie commerciali, che spesso hanno costi di licenza insostenibili per chi opera nel settore culturale, poiché tali tecnologie sono oggi disponibili anche in formato *open source*.

Da un primo sguardo al funzionamento del suddetto sistema, si possono elencare alcune considerazioni tenendo conto sia della descrizione offerta dal produttore, sia della diretta esperienza di istituzioni come quella senese.

---

51 [opensourcephotogrammetry.blogspot.it](http://opensourcephotogrammetry.blogspot.it).

52 [www.geotecnologie.unisi.it](http://www.geotecnologie.unisi.it).

53 La campagna di scavo presso l’accampamento paleolitico di Isernia La Pineta si è caratterizzato per le modalità innovative dell’approccio conoscitivo che non si è limitato alla raccolta dei dati e al loro stoccaggio in ambienti museali. Qui invece, il contesto di ricerca si è proposto di agire a favore di una divulgazione della conoscenza non più settoriale e accademica, quanto piuttosto aperta ad un largo pubblico. Si veda [www.unife.it/campagne-di-scavo/isernia-la-pineta](http://www.unife.it/campagne-di-scavo/isernia-la-pineta).

### **Principali vantaggi:**

- Acquisizione ed elaborazione molto rapida;
- Acquisizione di oggetti di qualsiasi dimensione;
- Non sono richieste competenze elevate di 3D;
- Costi contenuti;
- Richiede solamente l'attrezzatura normalmente utilizzata nelle attività di documentazione di uno scavo archeologico;
- Può essere utilizzata anche in condizioni estreme (grotte, scavo subacqueo...).

### **Alcuni svantaggi:**

- Allo stato attuale possiamo dire che l'accuratezza dipende da alcuni fattori, in particolare le condizioni di luce e le potenzialità del PC utilizzato per l'elaborazione la *texture* ottenuta trasferendo in automatico il colore dai punti alla *mesh*;
- Il programma è ottimo per gli oggetti di piccole dimensioni, ma di non grande qualità per gli oggetti di grandi dimensioni o che debbano essere fotografati da lontano.

## **6.2 VisualSfM**

*VisualSfM* è un'applicazione sviluppata da Changchang Wu, in collaborazione con l'Università di Washington e Google. L'applicazione non è *open source*, come spesso erroneamente si crede, ma è *freeware*, il che vuol dire che può essere scaricata e utilizzata gratuitamente solo per uso personale e non commerciale. I suoi pregi e difetti non differiscono molto da quella appena sopra nominata. Se si presta attenzione ai dati tecnici, l'elaborazione delle immagini risulterebbe più veloce rispetto a PPT, ma con un risultato meno accurato, in quanto la nuvola di punti riferibile all'oggetto ripreso sono

minori, lo quale provoca una specie di sgranamento dell'immagine e una resa meno realistica.

### 6.3 *ARC3D*

*ARC3D WebService* è un'applicazione *web* sviluppata dal laboratorio VISICS dell'Università Cattolica di Lovanio (Belgio). Il sistema funziona come servizio on-line: attraverso un'applicazione multiplatforma scaricabile gratuitamente<sup>54</sup>, le immagini vengono inviate ad un server messo a disposizione dalla compagnia e che successivamente le elabora; una volta terminata l'elaborazione, all'utente viene inviata una mail con un link per scaricare i risultati del rilievo 3D. Il risultato di un possibile impiego di questa applicazione è verificabile anche dal portale web, in cui ci si rende conto che la restituzione tridimensionale degli oggetti è di gran lunga inferiore rispetto alle due soluzioni precedenti; da una parte l'unico vantaggio, è che in questo caso viene restituita anche la *mesh* e la relativa *texture*, dall'altra è che i limiti dell'applicazione riguardano ancora una volta la mancanza di un'adeguata accuratezza. Essendo un servizio online, è importante prestare attenzione a cosa accade alle immagini che inviamo al server, le condizioni d'uso infatti specificano che:

*“The uploader gives ARC the right to use the results generated by the webservice for its research activities. In particular, the uploader gives ARC the right to use the data for the creation of a 3D repository for the testing and benchmarking of tools”*<sup>55</sup>.

La conseguenza è che si verifica un notevole risparmio di tempo nell'elaborazione dell'immagine a discapito, però, del diritto d'uso dei campioni fotografici.

---

54 <http://www.arc3d.be>.

55 <http://homes.esat.kuleuven.be/~visit3d/webservice/v2/download.php>.

## 6.4 Autodesk 123D Catch

Anche in questo caso si tratta di un servizio online, ma la differenza sostanziale rispetto ad *ARC3D* è che questo sistema è disponibile sia come applicazione desktop (Windows, Android e iOS), sia come applicazione web per tutti i sistemi operativi<sup>56</sup>. Il principio di funzionamento è simile a quello dei precedenti software: si inviano le foto attraverso l'applicazione (con un limite però di 70 immagini del peso massimo di 5 MB ciascuna); l'elaborazione delle immagini avviene sui server e al termine l'applicazione restituisce un modello tridimensionale già provvisto di *mesh* e *texture*. Da un punto di vista della licenza, in questo caso non è ben chiaro che cosa accada alle nostre immagini una volta caricate, in quanto è difficile comprendere al cento per cento la natura delle licenze Autodesk, resta quindi il dubbio che anche in questo caso si cedano i diritti di utilizzo delle fotografie campione utilizzate per generare il modello 3D.

## 6.5 PhotoScan (Standard Edition)

*PhotoScan*<sup>57</sup> è un software multiplatforma per un'elaborazione più complessa di un set di immagini da destinare alla restituzione tridimensionale. Si parla della versione standard perché è particolarmente indicata per la ricostruzione 3D di oggetti, in quanto consente di elaborare ed esportare il modello 3D e le nuvole di punti con una modalità di utilizzo relativamente facile e in tempi non eccessivamente lunghi. Nonostante si trovino strumenti che permettono di ottenere un lavoro finale abbastanza accurato, si può ricorrere alla versione *professional*, di costo però molto più elevato, è indicato per i rilievi topografici e architettonici, in quanto consente l'inserimento di coordinate note e l'esportazione di prodotti particolari come le ortofoto. Il software è a pagamento, ma rientra perfettamente nella categoria dei software *low cost*, inoltre può essere richiesta una versione demo di 30 giorni.

---

<sup>56</sup> <http://www.123dapp.com/catch>.

<sup>57</sup> <http://www.agisoft.com>.

## 6.6 3DF Zephyr

La scelta del software per la generazione del modello tridimensionale per questo lavoro di tesi è ricaduta su un programma sviluppato da *3Dflow*. Si tratta di una società privata italiana operante sul mercato dell'innovazione computazionale. È stata fondata nel 2011 come progetto imprenditoriale dell'Università di Verona. È un'azienda giovane, la quale fornisce soluzioni che spaziano dalla gestione d'immagini, alla fotogrammetria, dal processamento dei dati generati per la visualizzazione tridimensionale, alla modellazione in tre dimensioni. Nel 2014 è entrata a far parte integrante del *Techno seed*<sup>58</sup>, ottenendo così una piattaforma di lancio sul mercato.

*3DF Zephyr* è un programma che dispone di tre versioni: *Lite*, *Pro* e *Aerial*. Le sue potenzialità e le opzioni più avanzate richiedono, come è da presumersi, l'acquisizione della versione più avanzata (*Pro*), però già quella *Lite* offre un'ampia gamma di possibilità per creare o gestire immagini 3D. Le basi di partenza per il funzionamento di questo applicativo possono essere fotografie, le quali devono rispettare alcuni parametri per poter essere rielaborate<sup>59</sup>, oppure video, dai quali verranno estratti dei fotogrammi per le successive operazioni. Il procedimento è molto intuitivo, tutte e tre le versioni sono predisposte per la creazione di una nuvola di punti sparsa e una nuvola densa (dato grezzo), la ricostruzione diretta di una *mesh* (superficie a rete che indica la forma dell'oggetto rappresentato in 3D) e in fine la *texture* (visualizzazione del modello finale a colori realistici). Queste caratteristiche fanno di questo programma lo strumento ideale per quanto riguarda la gestione dei dati all'interno di un solo spazio ricostruttivo di lavoro, semplicemente perché non dobbiamo andare a complementare con programmi esterni.

Caratteristica molto importante e sottolineata in precedenza, è quella di essere un prodotto per tutte le tasche e del quale si possono richiedere le versioni di prova sull'apposito sito<sup>60</sup>.

---

58 *Techno Seed* è un incubatore d'impresa promossa dalla Friuli Innovazione, la quale offre la possibilità di creare impresa a piccole attività produttive o a ricercatori che desiderano trasformare le proprie idee in realtà.

59 Si veda Parte II: 9. *Come si realizza un modello 3D*.

60 [www.3dflow.net](http://www.3dflow.net).

## **Parte II**

## 7. La scelta dell'oggetto di studio

Prima di iniziare con i dettagli veri e propri del rilievo 3D, vorrei approfondire le ragioni che mi hanno portato alla scelta dell'oggetto di studio della presente tesi. Si tratta di uno dei tre “Galati Grimani”, meglio conosciuto come “Galata in ginocchio” (Fig. 8), un’opera della statuaria ellenistica presente nel Museo archeologico nazionale di Venezia. La scelta è stata motivata da una parte dalla storia che porta la suddetta statua ad avere un legame molto forte, nonché un’importanza alquanto significativa per la città di Venezia per quanto riguarda il collezionismo d’arte classica in ambiente lagunare.



Fig. 8 - Galata in ginocchio. Museo archeologico nazionale di Venezia.

(Foto personale)

Il numeroso gruppo al quale apparteneva la statua è considerevole, le fonti parlano di centotrenta sculture antiche appartenute al Cardinal Domenico Grimani<sup>61</sup> (1461-1523), il quale poteva vantare nella sua collezione molti originali greci di inestimabile valore, note e ammirate fra gli studiosi e la comunità dell'epoca. Le sculture da lungo tempo fatte oggetto di studio a livello storico-artistico, si prestarono singolarmente ad approfondimenti dedicati esplicitamente sul restauro, ma questi studi sia di carattere generale, sia di carattere specifico, non sono stati mai effettuati considerando le sculture nel loro insieme, ne tanto meno tenendo conto della loro storia collezionistica. Solo recentemente si avrà un interessante contributo, frutto dell'intensa ricerca di M. De Paoli<sup>62</sup>, la quale nel 2004 realizza un'indagine che si è proposta di analizzare, mediante un esame sistematico, i restauri effettuati sul copioso insieme di opere antiche. L'autrice è giunta ad un risultato che dimostra dei collegamenti tra i diversi esemplari della collezione Grimani, riguardanti conseguenti integrazioni risalenti al XVI sec. Dimostra poi, come in un certo senso, quegli interventi rispecchino la storia che sta dietro il gusto e le reinterpretazioni della scultura antica nella vita veneziana del tempo.

Emerge dalla ricerca della M. De Paoli, come il problema delle interpretazioni e riadattamenti delle iconografie classiche, connesso allo studio dei restauri rinascimentali, fosse in passato poco esplorato per quanto riguarda le collezioni veneziane.

Alla fine del cinquecento le sculture dei Grimani, figuravano come una delle raccolte rinascimentali di arte classica più importanti, non solo dell'area lagunare, ma anche a livello europeo, passarono allo Statuario Pubblico, attualmente Museo Archeologico Nazionale di Venezia. Una parte consistente proveniva dalla Grecia e dall'oriente del Mediterraneo, in particolare dall'isola di Creta, luogo in cui i veneziani residenti si impegnavano nella ricerca di antichità per abbellire le proprie dimore o per farne commercio con la loro madre patria. Altri pezzi della collezione invece, come il “Galata

---

61 Per ulteriori approfondimenti sulla famiglia Grimani si vedano FAVARETTO 2002, pp. 84-93; HOCHMANN *et al.* 2008, pp. 244-247.

62 DE PAOLI 2004.

in ginocchio”, giunsero a Venezia da Roma, dalla “vigna”<sup>63</sup> che i Grimani possedevano sul quirinale<sup>64</sup> e dal fervente centro antiquario dell'*Urbe*<sup>65</sup>.

I marmi antichi della famiglia Grimani entrarono a far parte dello Statuario Pubblico della Serenissima nel 1596, anno di creazione e di apertura alla collettività.

Sappiamo che il 3 febbraio 1587 fu la data in cui Giovanni Grimani Patriarca di Aquileia, si presentò al senato della Repubblica offrendo la sua raccolta di marmi al pubblico godimento. Questo fu il momento in cui venne segnata la nascita di un'istituzione che riuscì a godere di oltre due secoli di attività e fortuna a livello europeo, ma tutto ciò doveva avvenire a patto che la collezione venisse collocata in:

*“un luogo proportionato a tale effetto acciocché li forastieri dopo haver veduto et l'arsenal et l'altre cose meravigliose della città potessero anco per cosa notabile veder queste antichità ridotte in luogo pubblico”*<sup>66</sup>.

La decisione della donazione portò allo Stato veneziano ad accettare il dono di Giovanni Grimani, successivamente e di comune accordo, fu stabilito ed individuato il “*luogo proportionato*” per ospitare l'importante raccolta, si tratta dell'Antisala della Biblioteca Marciana, un ampio ambiente finestrato, fino ad allora la sala della scuola umanistica di San Marco.

Le richieste del Patriarca di Aquileia trovavano una fondata ragione giacché la raccolta d'arte della famiglia aveva trovato fino a quel momento una collocazione pensata e progettata appositamente per accoglierla. Il luogo in questione, denominato la Tribuna, faceva parte delle sale di Palazzo Grimani, il quale era stato il primo museo privato a

---

63 Il luogo in cui si trovava la “Vigna Grimani” secondo alcune fonti, corrisponde alle vicinanze dell'attuale Piazza Barberini, la quale allora e presumibilmente fino al 1627, come sottolinea Rodolfo Gallo, era conosciuta come Piazza Grimana, cfr. GALLO 1952. I lavori di risistemazione stradale e della costruzione di Via Quattro Fontane nel 1585 ca. attraversarono nel mezzo la “Vigna”, causando il rinvenimento di reperti antichi.

64 PERRY 1978.

65 GHEDINI 1997; JESTAZ 1963; LANCIANI 1990 pp. 194-214.

66 Estratto del discorso pronunciato da Giovanni Grimani al Senato veneziano nel 1586, cfr. FAVARETTO 2002, p. 89, nota. 137.

pianta centrale di Venezia, oltre ad essere un capolavoro della museologia rinascimentale. Le sue rigorose peculiarità consistevano nel fatto che, da un punto di vista stilistico, si caratterizzasse per una totale assenza di elementi decorativi veneti, rendendosi uno spazio senza paragoni nella città lagunare. Lo spazio finemente decorato e sapientemente illuminato, era stato completato con una serie di nicchie alle pareti e mensole per l'alloggiamento dei busti e delle statue<sup>67</sup>.

Al momento della disgregazione nel 1594 e in seguito alla donazione del 1587, la Tribuna alloggiava più di centotrenta sculture tra opere greche e romane, ma è da presumersi che il numero fosse aumentato dovuto all'attività collezionistica del Patriarca di Aquileia.

Uno dei passaggi più complicati che permisero di giungere al risultato finale, ovvero la definitiva collocazione della collezione negli spazi soprannominati, fu la redazione di un inventario delle sculture appartenute a Domenico Grimani<sup>68</sup>, le quali dal 1523 e fino al 1586 in sua memoria, vennero disposte in una sala di Palazzo Ducale chiamata Sala delle Teste e successivamente passate in eredità a Giovanni. Le figure che per volere della Procuratoria si fecero carico dell'inventario furono: Domenico delle due Regine e Alessandro Vittoria. Il primo un rinomato esperto di marmi antichi, nonché abile mercante; il secondo, il più importante scultore di Venezia all'epoca.

Non furono da sottovalutare le complicazioni che portò la morte di Giovanni Grimani avvenuta nel 1593, all'allestimento dello Statuario. Si dovette decidere perciò, alla nomina di Federico Contarin per il completamento dell'opera, nonché della conclusione dell'inventariazione delle sculture custodite nelle sale di palazzo Grimani in Ruga Giuffa<sup>69</sup>; altrettanto complessa fu la faccenda della bollatura delle opere, soprattutto per quanto riguardava una esplicita differenziazione delle opere appartenenti alle collezioni di Domenico e Giovanni. Distinguere l'effettivo proprietario senza precise indicazioni, dovette essere un lavoro molto arduo, in primo luogo perché le sculture apparivano

---

67 MANTOVANELLI 1990, pp. 138-140.

68 Il gruppo di sculture donate da Domenico Grimani era composto da undici teste (le quali ispiravano il nome della suddetta Sala), quasi tutte raffiguranti imperatori romani, e cinque statue: un Apollo, un torso di Afrodite con delfino e tre Galati; il tutto proveniente da Roma e forse proprio dalla "vigna" appartenuta ai Grimani.

69 DE PAOLI 2004.

perfettamente integrate nell'assetto della Tribuna, curata ed arricchita per decenni da entrambi i proprietari; in secondo luogo perché Tiziano aspetti, che aveva restaurato parte delle opere del Cardinal Domenico (in particolare “Il Galata in ginocchio” e la statua del “Lottatore”), senza alcun motivo, sembra non essere stato interpellato per tali operazioni<sup>70</sup>. Risulta paradossale visto che era stato proprio lo stesso scultore nelle vesti di restauratore, ad occuparsi per anni di alcuni dei marmi appartenuti al Cardinal Grimani.

Nonostante le difficoltà del compito, aggiunte a quelle affrontate con la famiglia Grimani, il 19 agosto 1596 Federico Contarin annunciò al Senato della Serenissima che l'incarico di inventariazione, assieme alla collocazione presso il Pubblico Museo della raccolta, era stato portato a termine.

## 7.1 Aspetti storico-archeologici

La statua presente nel Museo Archeologico Nazionale di Venezia è una replica proveniente da Roma di età antoniana (seconda metà del II sec. d.C. ) da un originale di scuola pergamena databile nella seconda metà del II sec. a.C. Il monumento dei Galli dedicato dai Pergameni sull'Acropoli di Atene, rappresenta l'immagine dei vinti più nota della storia dell'arte, attraverso i quali viene raffigurato “il popolo più potente e bellicoso che allora viveva in Asia”<sup>71</sup>, un popolo celtico stanziatosi nel cuore dell'odierna Turchia che colpiva con sanguinose razzie le regioni vicine e che attraverso la testimonianza di Pausania<sup>72</sup>, sappiamo essere stato sconfitto da Attalo I nel 240 a.C.

La statua del “Galata in ginocchio” apparteneva quindi ad un articolato gruppo scultoreo, il cosiddetto “Piccolo Donario pergameno”<sup>73</sup> un *ex voto* per le vittorie

---

70 JESTAZ 1990.

71 *La gloria dei vinti* 2014.

72 PAUS., X 15, 3.

73 Il “Piccolo Donario pergameno” era chiamato in questo modo perché riproduceva a due terzi dal vero le sculture del “Grande Donario pergameno”, il quale in confronto conteneva sculture in scala più grande del vero.

ottenute dal Re greco Attalo I (269 e 197 a.C.) di cui le fonti<sup>74</sup> menzionano una versione originale in bronzo posta sull'Acropoli di Atene (Fig. 9):

*“πρὸς δὲ τῷ τείχει τῷ Νοτίῳ γιγάντων, οἱ περὶ Θράκην ποτὲ καὶ τὸν ἰσθμὸν τῆς Παλλήνης ᾤκησαν, τούτων τὸν λεγόμενον πόλεμον καὶ μάχην πρὸς Ἀμαζόνας Ἀθηναίων καὶ τὸ Μαραθῶνι πρὸς Μήδους ἔργον καὶ Γαλατῶν τὴν ἐν Μυσίᾳ φθορὰν ἀνέθηκεν Ἄτταλος, ὅσον τε δύο πηχῶν ἕκαστον...”*

“Presso il muro meridionale, Attalo dedicò la mitica guerra dei giganti, che un tempo abitavano intorno alla Tracia e all'istmo della Pallene, inoltre la battaglia tra le Amazzoni e gli Ateniesi, l'impresa contro i Medi a Maratona e la strage dei Galati in Misia: ogni opera e alta due cubiti...<sup>75</sup>”.

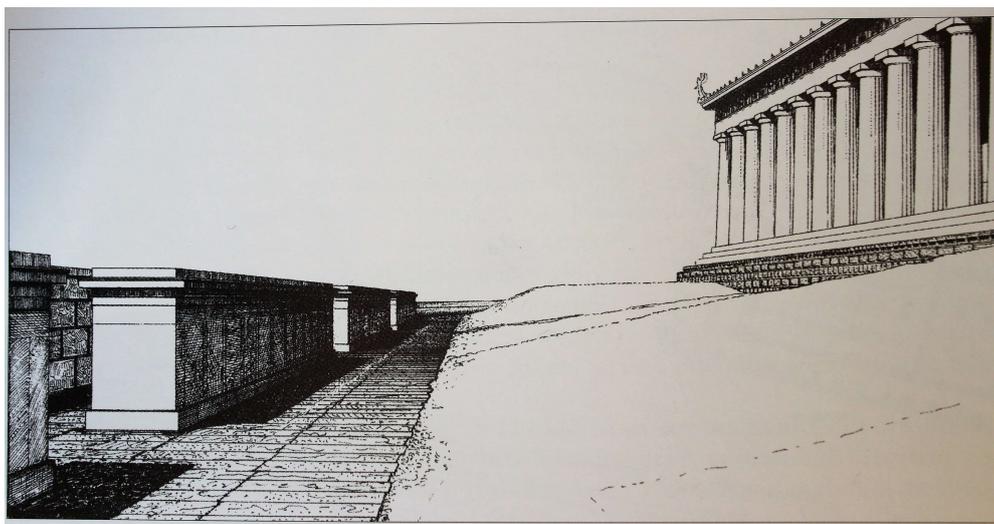


Fig. 9 – Acropoli di Atene Basamenti del Piccolo Donario, ricostruzione prospettica  
(da KORRES 2004, fig. 218, p. 187).

74 Il monumento venne descritto da Pausania - il periegeta -, ne fa eco quando precisa che vi si vedeva «la guerra leggendaria (*μυθικός πόλεμος*) dei Giganti, quelli che abitavano un tempo intorno alla Tracia e l'Istmo di Pallene», «la battaglia (*μάχη*) degli Ateniesi contro le Amazzoni», «la vittoria (*κατόρθωμα*) di Maratona contro i Medi» e «la strage (*καταστροφή*) dei Galati in Misia». Si veda MORENO 1994, p. 566.

75 PAUS., I 25, 2.

L'apparato scultoreo doveva contenere non soltanto le raffigurazioni dei vinti, ma anche scene mitologiche raffiguranti l'Amazzonomachia, la Gigantomachia, la Medomachia e la Galatomachia. Precisamente il monumento donato dai Pergameni alla città di Atene fu commissionato da Attalo II, verso il 160 a.C., doveva dare l'impressione di un grande campo di battaglia caratterizzato da uno stile fortemente patetico e drammaticamente teatrale, ottenuto mediante l'esasperazione dei volumi, dei gesti e delle espressioni dei volti<sup>76</sup>. Rispetto alle scene del "Grande Donario"<sup>77</sup>, le quattro scene del donario di Attalo II si caratterizzano sia perché la misura delle sculture è diminuita, ma anche perché la coesione e l'intreccio delle figure si è sciolto. Sappiamo da Plutarco<sup>78</sup> e Pausania che ad Atene, in parallelo al fianco meridionale del Partenone, il gruppo statuario era addossato al muro di cinta dell'Acropoli a monte del Teatro di Dioniso (Fig. 10).

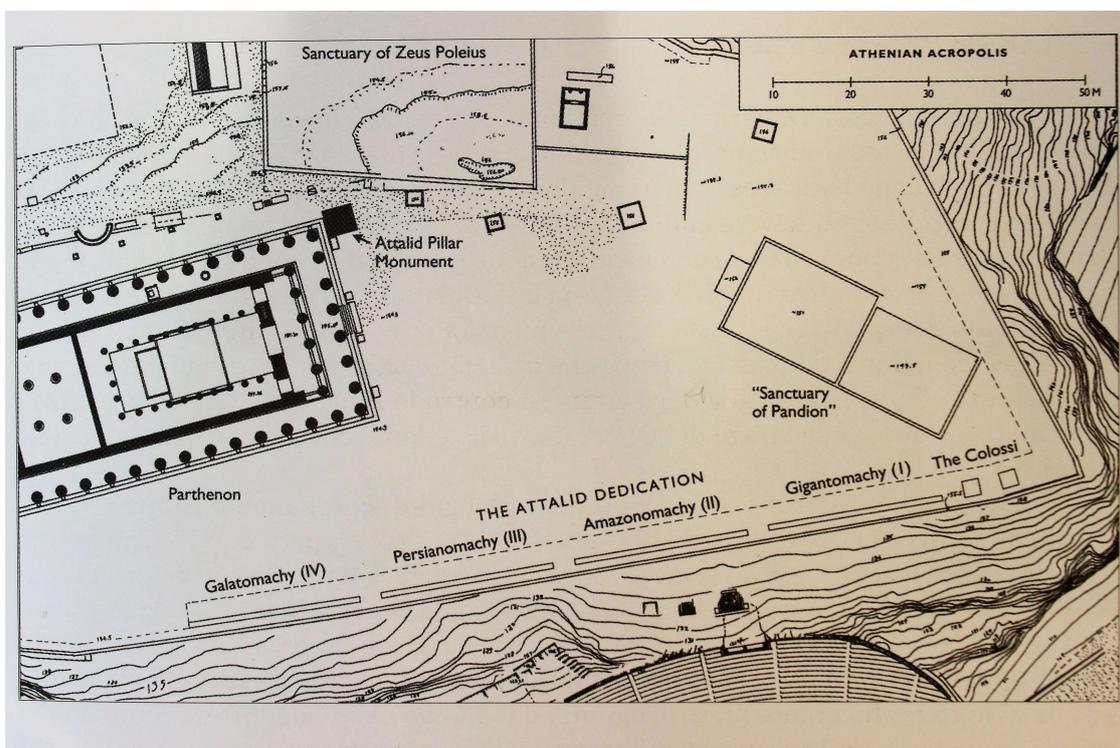


Fig. 10 – Acropoli di Atene. Posizione dei donari di Attalo I.

(da STEWARD 2004, fig. 228, p. 196)

76 PALMA 1981.

77 Per approfondimenti si veda MORENO 1994; COARELLI 1978.

78 PLU., *Ant.* LX 2, 3.

## Genealogia degli Attalidi

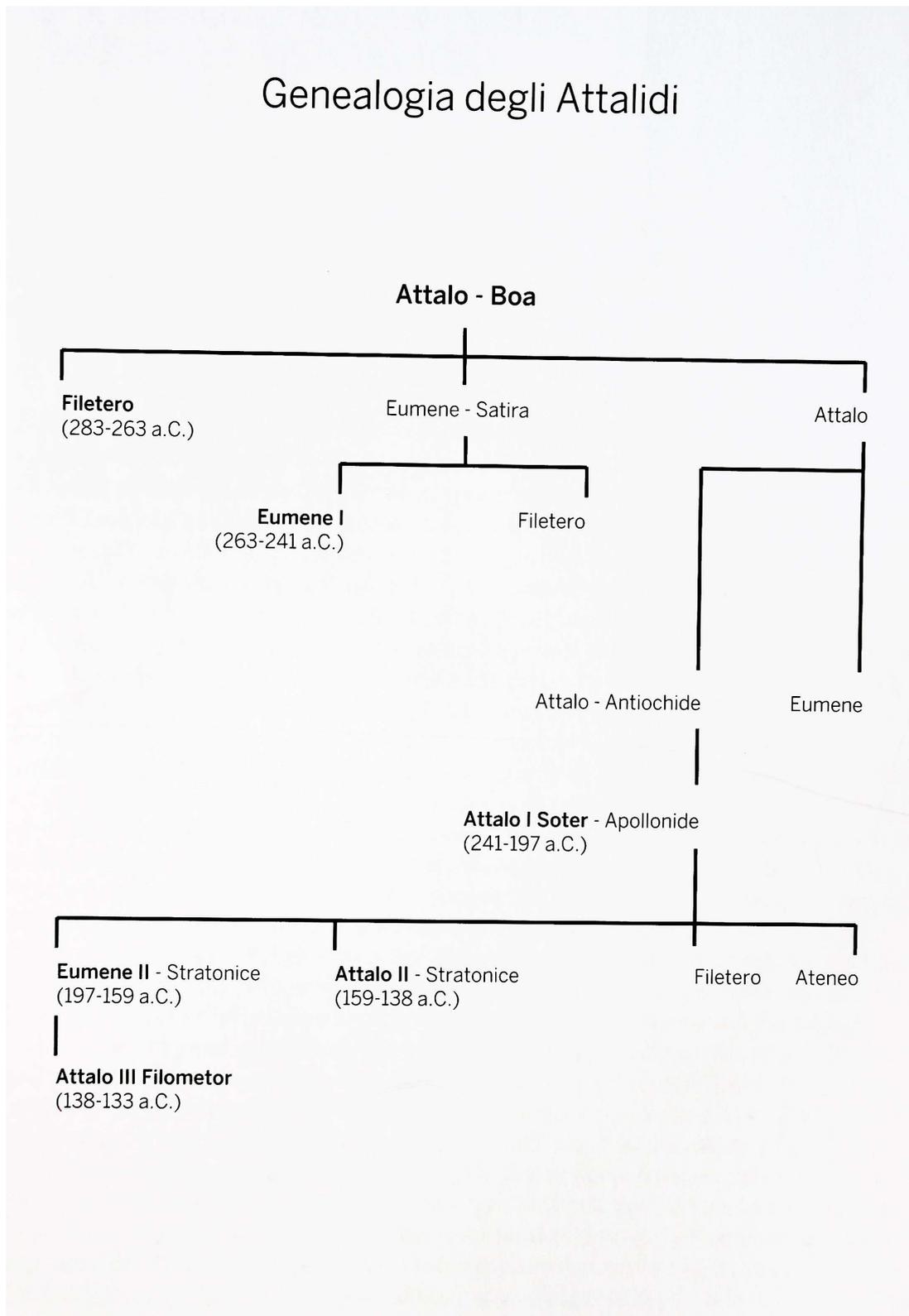


Fig. 11 - Genealogia degli Attalidi (da COARELLI 2014, p. 112).

Dalla lettura delle fonti si potrebbe pensare che le due versioni della Galatomachia a Pergamo e ad Atene dovevano avere come principale scopo quello di offrire allo spettatore la visione di un monumento simbolo di vittoria sul fondale del sacrario di Atena, divinità protettrice di entrambe le città. Nella versione della Galatomachia Ad Atene il Periegeta ambienta l'episodio in Misia, collegando in chiave narrativa il gruppo già sperimentato a Pergamo al tempo di Attalo I, al cosiddetto "Piccolo Donario": la scena qui si svolge ancora nel campo di battaglia in cui trovano posto l'agonia dei feriti e l'uccisione/suicidio dei riveli, e lascia allo scoperto quello che fu l'ultimo atto di resistenza da parte dei Galati nei pressi delle sorgenti del Caico<sup>79</sup>. Dunque, vengono fuse sapientemente l'attualità della politica pergamena, e quello che è l'immaginario attico riguardante la raffigurazione monumentale del mito, la storia e l'epica, il tutto in un ideale gemellaggio tra Atene e Pergamo consolidato in un gruppo scultoreo che celebra la definitiva liberazione delle popolazioni elleniche dalla morsa dei Galati nel 166 a.C. ad opera di Eumene II e del fratello Attalo non ancora divenuto re<sup>80</sup>.

Ho voluto sottolineare, seppur brevemente, la storia che lega in modo particolare il "Galata in ginocchio" alla città di Venezia e i suoi aspetti storico-archeologici, ma da questo punto in poi, cercherò in modo pratico di dimostrare in che modo attualmente si può sfruttare una tecnologia come quella della fotogrammetria automatica, la quale attraverso la ripresa di una serie di fotografie, ci permette di ricostruire tridimensionalmente un oggetto e ci consente soprattutto in chiave moderna di arricchire quella esperienza legata al pubblico godimento non solo del oggetto di studio di questa tesi, ma che potrebbe estendersi alle opere d'arte in generale.

---

79 MORENO 1994, p. 566.

80 HANSEN 1971; MOSCATI 1991.

## **8. Progettazione e realizzazione di una campagna fotografica di rilievo 3D**

Creare un modello tridimensionale è un procedimento che necessita di una precisa pianificazione. Non basta sedersi davanti a un computer per riprodurre un oggetto; innanzitutto, dovremmo procedere con metodo: la raccolta di informazioni attraverso la ricerca bibliografica, la documentazione e la valutazione degli aspetti storico-artistici, assieme all'analisi del reperto, sono passaggi fondamentali e necessari per ottenere un buon risultato. Le notizie che forniscono informazioni sull'aspetto di un determinato reperto, aggiunte a quelle che ci danno una panoramica dello stato attuale, saranno le basi per arrivare ad un risultato di rappresentazione digitale ottimale. L'obiettivo non è produrre una doppia documentazione, bensì quello di completarne la già esistente aumentando il grado di accessibilità dei dati. Nell'ambito della conoscenza archeologica, quei dati andranno a far parte di un linguaggio descrittivo (digitale), il quale consente di spiegare e descrivere le caratteristiche sia generali, sia specifiche di un determinato caso di studio.

Ora, per inquadrare meglio in che modo si deve procedere per l'acquisizione delle prime immagini dobbiamo precisare che le pagine che seguono sono un'interpretazione personale di una delle tante possibilità in commercio per quanto riguarda l'uso della fotogrammetria automatica in campo archeologico. Tutto il lavoro descritto, infatti, comprese le riflessioni e passaggi metodologici, nascono dalla sperimentazione del caso concreto qui presentato. Si è accennato in precedenza che la scelta ricaduta sul software *3DZephyr Lite* sia stata motivata dal fatto che la sua semplicità d'uso e senza dubbio un elemento che gioca a favore dell'avvicinamento verso questo tipo di tecnologie, in quanto la raccolta di dati in uno stesso ambiente di gestione facilitata, e non di poco, il processo di riadattamento tridimensionale degli ambienti o dei reperti selezionati per ulteriori analisi.

Rilevare un oggetto in 3D significa creare una copia digitale con caratteristiche ben definite: dev'essere metricamente corretto e deve contare con una resa cromatica realistica<sup>81</sup>.

Il metodo di acquisizione qui presentato sarà quello che rientra nella categoria della *SfM*, una tecnica che permette di ricostruire in modo automatico una scena tridimensionale partendo da un set di immagini digitali bidimensionali, una delle caratteristiche più importanti di questa tecnica, è che permette di ricavare posizione e orientamento delle immagini in modo automatico senza dover fornire alcun dato supplementare, differisce sostanzialmente dalla fotogrammetria convenzionale in quanto l'intervento umano nel processo, grazie soprattutto ai livelli di automatizzazione dei programmi, è stato ridotto ad alcuni comandi da lanciare. In questo modo è sufficiente procedere alla ripresa fotografica di un oggetto sovrapponendo l'immagine ripresa precedente nell'ordine del 60% o 80%, creando così un foto-mosaico.

## **8.1 L'attrezzatura necessaria**

La prima fase operativa consiste nell'acquisizione delle immagini dell'oggetto da documentare. Sarà quindi di fondamentale importanza l'acquisizione di buone fotografie digitali. In questa fase è certamente utile l'utilizzo di una buona macchina fotografica, anche se camere compatte potrebbero dare dei buoni risultati o persino si potrebbe ricorrere all'utilizzo di uno smartphone, partendo dal presupposto che ormai la maggior parte di essi è dotato di una camera fotografica in grado di offrire un'ottima prestazione.

Nel processo di rilievo fotografico del "Galata in Ginocchio" sono state utilizzate una Canon Eos 600D, con un'obiettivo standard EFS 18-55 mm., una Canon Eos 60D con obiettivi EFS 18-55 mm. e EF 50 mm. e un *Personal Computer* di medie prestazioni (Fig. 12).

---

81 BIANCHINI 2008.



Fig. 12 – Attrezzatura utilizzata per il rilievo fotografico del “Galata in ginocchio”.

In alcune situazioni può essere molto utile l’uso di un cavalletto, particolarmente in luoghi chiusi con poca luce dove il rischio di ottenere immagini mosse è molto alto; è da evitare l’uso del flash, perciò è necessario fare attenzione ai cambi drastici d’illuminazione, in quanto ne risentirà il modello digitalizzato o addirittura potrebbe costringerci allo scarto dell’immagine o alla mancanza di computazione da parte del programma. Può risultare utile anche l’uso di una scala nei casi in cui l’oggetto da fotografare sia particolarmente alto e diventi impossibile scattare fotografie anche della parte più elevata dell’oggetto. È consigliato anche l’utilizzo di un fondale fotografico laddove sia possibile la sua posa<sup>82</sup> (Fig. 13).

---

82 Lo sfondo o telo fotografico, ci aiuta ad ottenere un notevole isolamento dell’oggetto da fotografare, inoltre la sua neutralità consente di evidenziare maggiormente il soggetto principale.



Fig. 13 - Rilievo fotografico presso il Museo Archeologico di Venezia.

(foto personale)

## 8.2 Rilievo fotografico

Quando si scattano le fotografie si deve sempre considerare la tridimensionalità dell'oggetto che si ha di fronte. Per ottenere un rilievo completo e accurato è indispensabile scattare foto tutt'attorno all'oggetto: su tutti i lati, sopra e, se possibile, anche sotto. Ogni porzione dell'oggetto deve comparire in almeno tre fotografie e ogni foto deve avere un margine di sovrapposizione minimo del 60% circa con quelle

successive ed è da segnalare che l'oggetto fotografato per buona parte delle immagini dovrà comparire nella sua totalità nell'inquadratura (Fig. 14).



Fig. 14 - Processo di rilievo fotografico, posizione delle immagini riprese.

La situazione ideale è quella in cui ad ogni scatto fotografico ci si sposta di lato fino al completamento di un giro intorno all'oggetto (Fig. 15). Il consiglio è quello di scattare il maggior numero di fotografie possibili, in questo modo in un secondo momento potremmo scegliere quelle che saranno più adatte all'elaborazione digitale ed eliminare eventualmente quelle che non hanno le caratteristiche ideali d'illuminazione o di messa a fuoco. Una delle impostazioni importanti da rispettare per quanto riguarda il settaggio della macchina fotografica è la risoluzione: non è consigliato (in particolare dal produttore del software usato in questa sede) l'impiego di immagini ad alta risoluzione<sup>83</sup>, a meno che non si abbia a disposizione un computer ad altissime prestazioni per la loro successiva elaborazione; questo è dovuto al fatto che nel caso in cui si utilizzi un PC di

<sup>83</sup> Per approfondimenti sull'impostazione della attrezzatura fotografica si veda: [www.3dflow.net](http://www.3dflow.net) nella sezione "LINEE GUIDA".

medio livello, ad esempio un *notebook*, il tempo di elaborazione all'interno del programma diventerebbe eccessivo o addirittura risulterebbe quasi impossibile processare un numero elevato di foto.

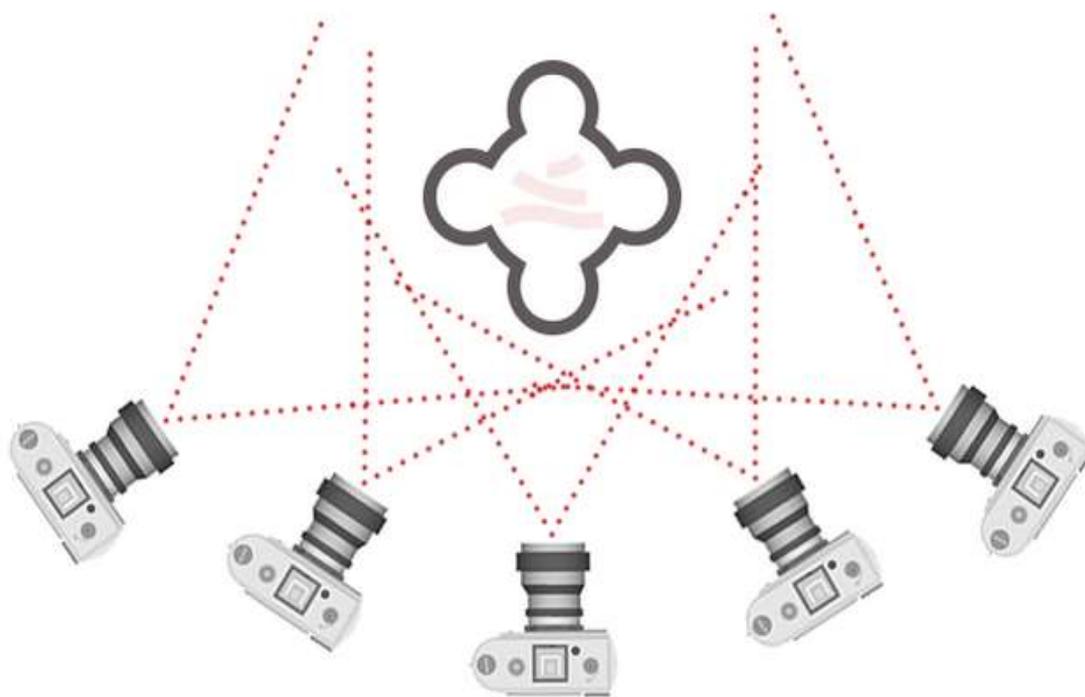


Fig. 15 – Modalità ideale di ripresa fotografica.

## 9. Come si realizza un modello 3D

Per questo progetto di tesi si è ritenuto necessario frequentare un corso di fotogrammetria automatica presso 3d-archeolab<sup>84</sup>, si tratta di un'azienda sostenuta dall'Associazione Culturale 3D Lab di Torino, la quale offre corsi di formazione professionali sulle tecnologie di Fabbricazione Digitale per i Beni Culturali. Le linee guida del suo cofondatore G. Bigliardi hanno offerto a chi scrive lo spunto per l'acquisizione del software *3DZephyr Lite*, uno strumento tecnologico italiano fra i migliori in commercio con una semplicità d'uso che verrà illustrata nell'intento di descrivere passo a passo come si arriva alla realizzazione di un modello tridimensionale. Nel momento in cui si scarica il programma (in questo caso si è optato per l'impostazione in italiano), la schermata principale che si dovrebbe presentare ha le seguenti caratteristiche (Fig. 16):

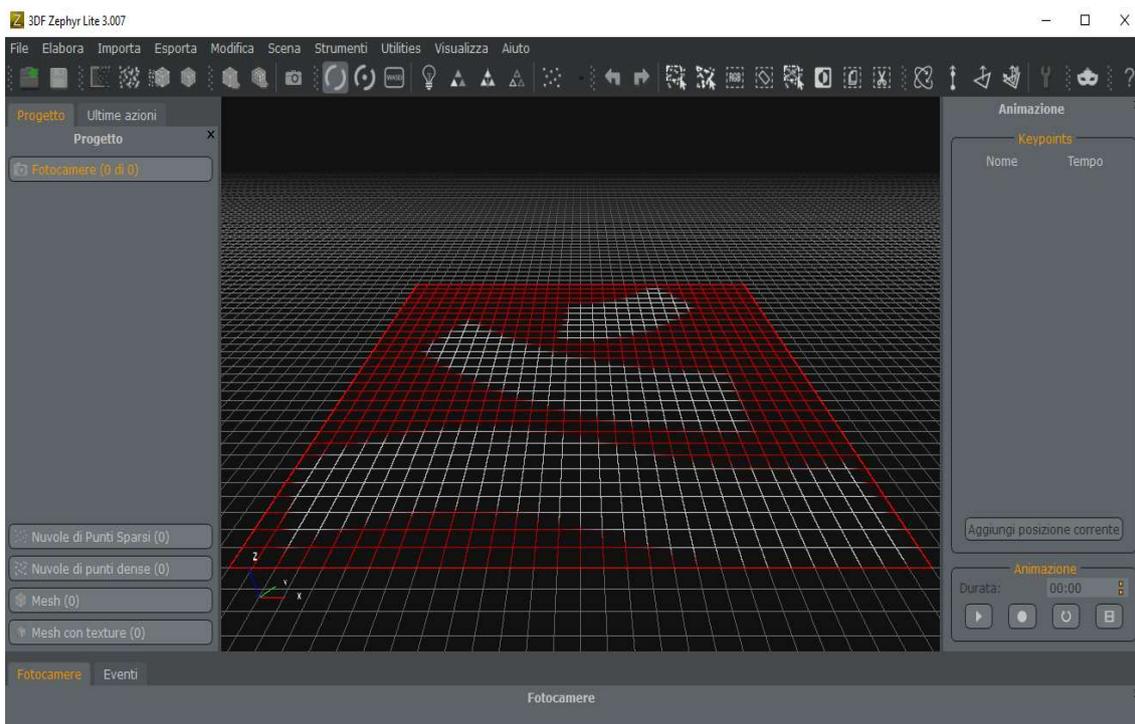


Fig. 15 – *3DZephyr Lite* schermata iniziale di elaborazione.

84 Si veda [www.3d-archeolab.it](http://www.3d-archeolab.it).

Nonostante nella la schermata principale di elaborazione si presentino svariati strumenti contenuti nelle diverse tendine o sotto-menu, l'elemento principale per cominciare un nuovo progetto sarà quello indicato all'interno del menu “Elabora”; lanciato questo comando comparirà una schermata di procedura guidata per la selezione delle immagini da inserire (Fig. 16).



Fig. 16 – schermata di selezione delle immagini.

In questa schermata troviamo tutte le indicazioni per la selezione delle immagini e in una sorta di promemoria vengono elencate le caratteristiche necessarie per poter procedere con la creazione di un “Nuovo progetto”. Ci viene ricordato che la qualità fotografica deve essere ottimale, infatti, foto sfuocate o un'inquadratura sbagliata possono influire negativamente nel processo ricostruttivo. Il modo migliore per

continuare è quello di seguire passo a passo tutte le fasi costruttive, in quanto avremmo eventualmente la possibilità di correggere e visualizzare le corrispondenze fotografiche all'interno dello spazio di lavoro.

Il processo di rielaborazione delle immagini è composto dai seguenti passaggi:

- *Image matching*: può essere definito il dato grezzo con il quale il programma avvierà il riconoscimento delle corrispondenze fra le diverse immagini. Lo scopo di questo processo è l'individuazione del maggior numero sovrapposizioni tra 2 o più immagini calcolando i punti nello spazio da dove sono state scattate le foto;
- *Structure-from-Motion reconstruction*: in questa fase vengono identificate le corrispondenze fotografiche del passaggio precedente. Sono attribuite automaticamente oltre alla distanza, la larghezza e la lunghezza focale della macchina fotografica rispetto all'oggetto ripreso. L'automatismo, attraverso un meccanismo di triangolazione, servirà alla ricostruzione nello spazio tridimensionale della geometria di presa di ciascuna immagine per la creazione di una nuvola di punti a bassa densità (in altri programmi può essere definita nuvola sparsa);
- *Multi-view Stereo reconstruction*: questo passaggio corrisponde alla creazione di una nuvola di punti tridimensionale ad alta densità; in pratica tutte le suddette corrispondenze fotografiche si uniscono per conferire un aspetto equivalente all'oggetto ripreso, senza però, avere le caratteristiche fotorealistiche;
- *Mesh*: questa fase si può dire una delle più impegnative per il nostro PC, in quanto rappresenta uno dei momenti culminanti in cui si uniscono tutti i poligoni, i vertici, gli spigoli e le facce che definiscono la forma dell'oggetto ripreso, inoltre viene conferita all'immagine una superficie continua e solida, ma la *mesh* si presenterà grigia e si avrà la sensazione di avere un modello sgranato,

non si tratta di un errore nel procedimento, è solo una mancanza cromatica, la quale verrà attribuita successivamente;

- *Texture*: Rappresenta l'ultima fase ricostruttiva del modello, è caratterizzata dalla visualizzazione tridimensionale a colori realistici dell'oggetto fotografato in cui sono state trasferite virtualmente le caratteristiche originarie.

Il software in questione nella finestra delle opzioni aggiuntive potrebbe, se lo desideriamo, già lanciare automaticamente tutti i processi ricostruttivi precedentemente menzionati, ma spesso si rende necessario ad ogni passaggio, analizzare ed eventualmente modificare i risultati per far sì che non vengano calcolati o elaborati punti indesiderati dell'immagine. Seguire tutto il procedimento passo a passo, quindi, risulta la scelta migliore, perché solo in questo modo il tempo di modellazione tridimensionale, anche se sembra paradossale, potrebbe essere ridotto sensibilmente.

Un altro dei numerosi vantaggi di *3DZephyr Lite*, preso in prestito dalla fotogrammetria automatica, è la calibrazione (tramite il collegamento in rete) dell'attrezzatura fotografica. Avere a disposizione una simile opzione è di grande utilità soprattutto quando non si ha dimestichezza con l'impostazione ottimale dell'apparecchiatura in uso.

Il tempo che è stato impiegato per la ripresa fotografica del “Galata in ginocchio” è stato relativamente breve, sono state necessarie circa 100 fotografie per ricostruire la sua posizione in un spazio tridimensionale (Fig. 17). In questo processo, nonostante l'ottima collocazione in cui si trova la statua, sono stati riscontrati alcuni problemi di illuminazione che hanno influito inizialmente sull'oggetto provocando una variazione cromatica dovuta al gioco di luci ed ombre dell'ambiente ospitante, ad ogni modo le variazioni sono state gestite tramite basilari modifiche e il risultato del rilievo non ha rappresentato nessun ostacolo per la registrazione digitale.

Il rilievo fotografico può certamente essere messo alla prova data la particolare posizione in cui si potrebbe trovare il soggetto ripreso, ma le suddette problematiche fanno parte del lavoro sviluppato nell'ambito della tesi che si è posto come

obiettivo generale quello di approfondire, per l'appunto, le problematiche e le potenzialità relative alle tecniche *image-based*, ed in particolare della fotogrammetria automatica per il rilievo e la ricostruzione 3D di Beni Culturali, soprattutto di tipo archeologico<sup>85</sup>.

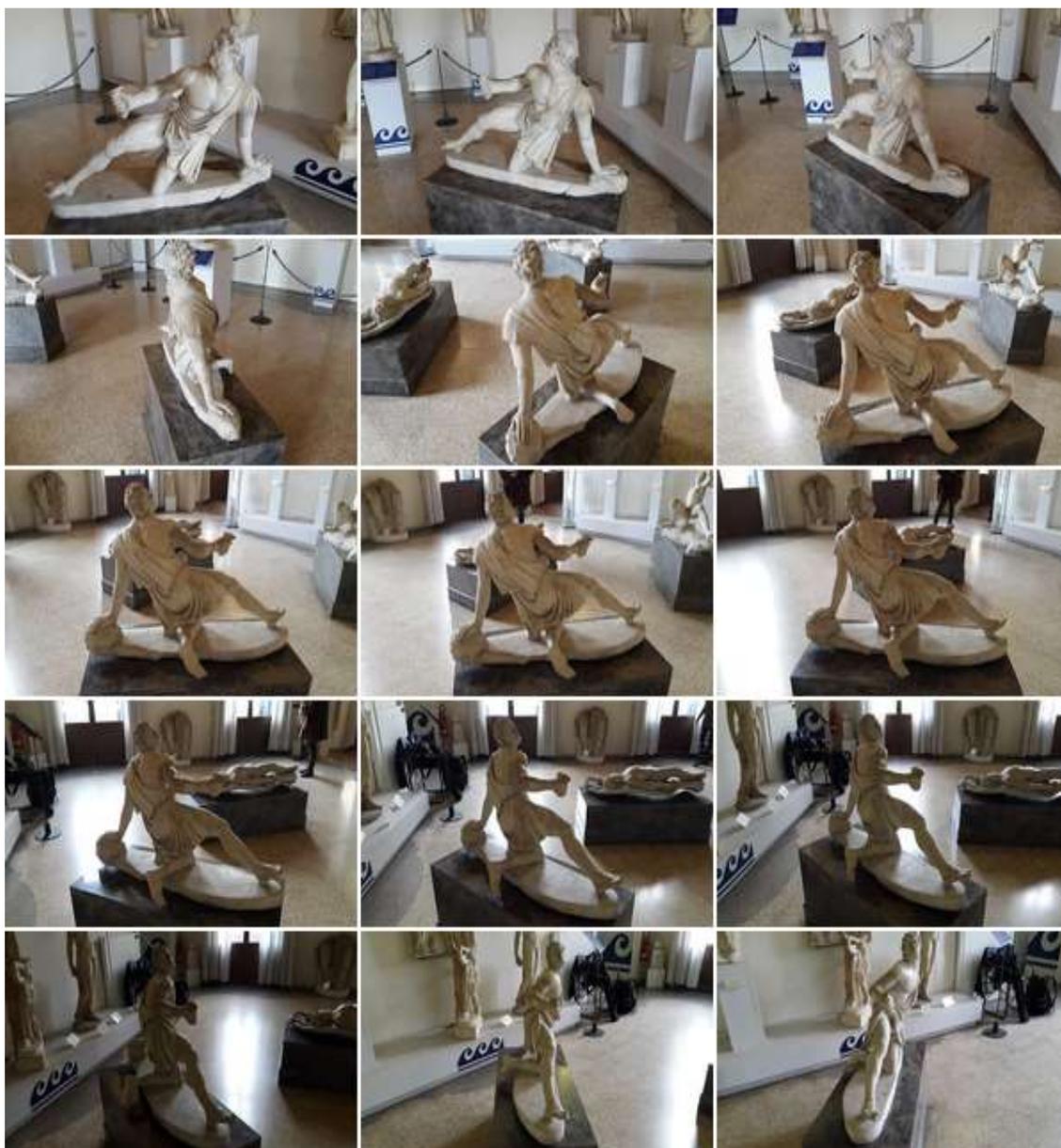


Fig. 17 – Riprese fotografiche del “Galata in ginocchio” presso il Museo Archeologico Nazionale, Venezia.

---

85 PALKA 2011.

Una volta finita la selezione delle foto, si è potuto procedere con l'acquisizione della nuvola sparsa: questa prima fase come è stato indicato in precedenza è costituita da una nuvola di punti sparsa collocata in un ambiente virtuale (Fig. 18); qui si può distinguere il dato fotografico allo stato grezzo. È evidente che già dai primi passaggi si intuiscono le caratteristiche della statua Grimani, così come è altrettanto riconoscibile parte dell'ambiente materiale in cui si trova, infatti il software oltre a creare una coerenza fra un'immagine e l'altra dell'oggetto principalmente ripreso, lascia traccia degli altri oggetti che lo circondano rimanendo però, come una specie di sottofondo informe che potrà essere cancellato utilizzando gli appositi strumenti. Il risultato ottenuto è il seguente:

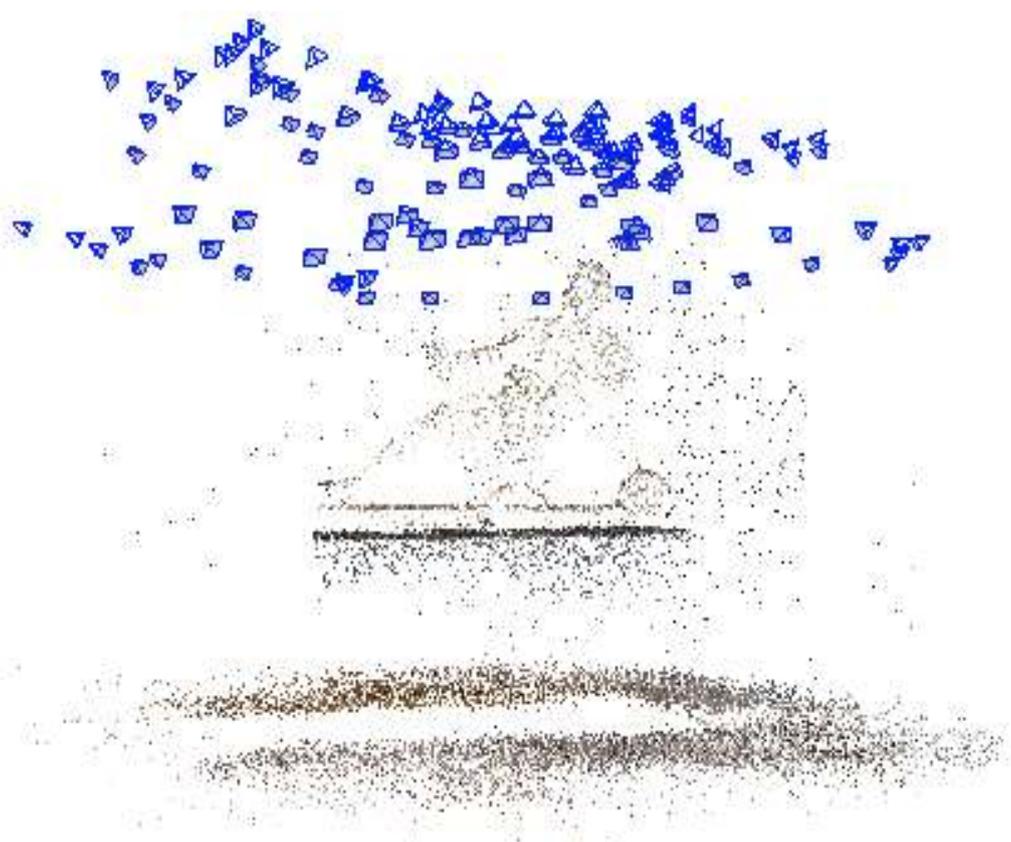


Fig. 18 – Nuvola di punti sparsa. In blu sono raffigurate le posizioni di ripresa delle foto.

Successivamente tramite il menù si procede con il comando per generare prima la nuvola densa (Fig. 19). La maggior solidità conferita all'immagine attraverso questo

passaggio, ci permette di capire quali sono gli elementi essenziali e caratteristici del modello, si presenteranno più chiaramente i contorni e si potrà andare a ridurre quella che è l'effettiva sezione sulla quale *3DZephyr Lite* si baserà per creare il modello finale.

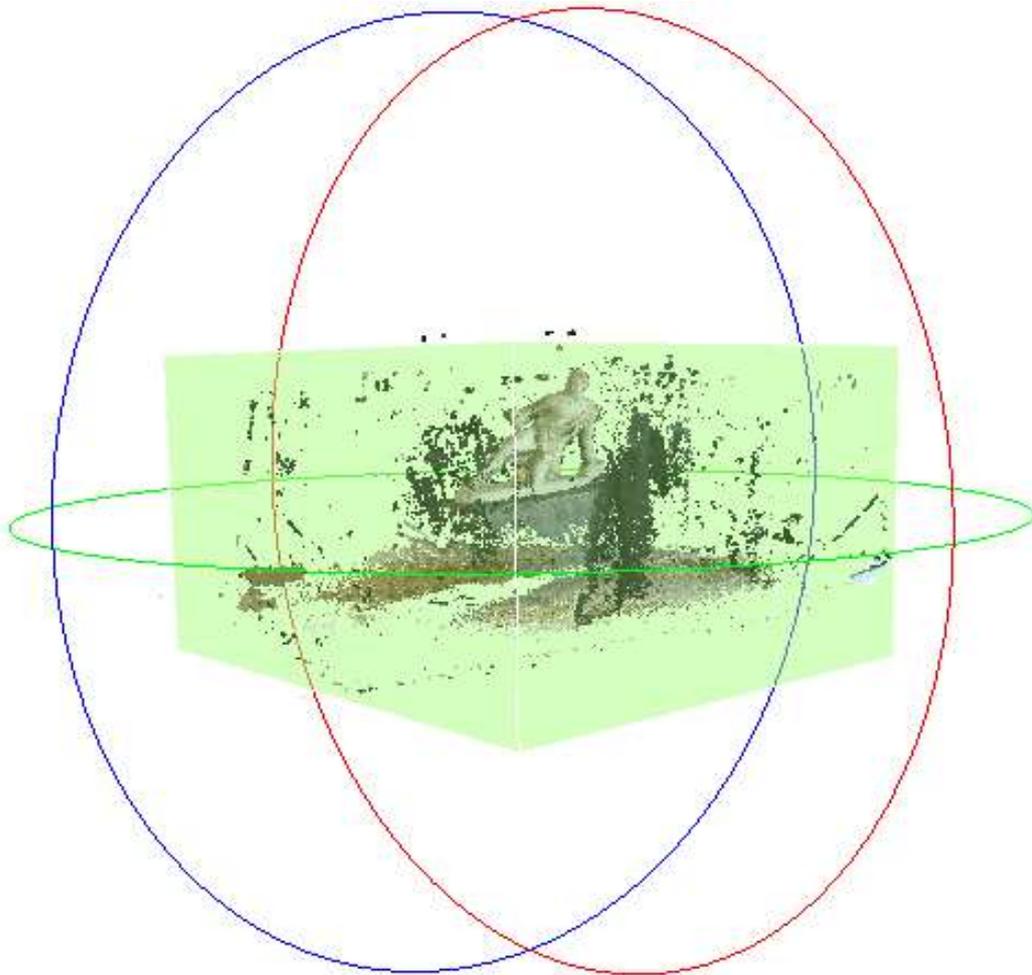


Fig. 19 – Nuvola di punti densa. Posizione del modello in ambiente tridimensionale.

Nella finestra di lavoro potranno essere richiamata la presenza degli assi X, Y, e Z, questi sono gli indicatori con cui vengono attribuite le coordinate spaziali dell'oggetto nell'area virtuale. All'interno di questo programma rappresentano una libera selezione

(tramite lo specifico comando) che permette di migliorare l'allineamento del modello, e a seconda delle necessità ruotarlo, traslarlo o metterlo a scala.

Una volta generata la *mesh* del “Galata in ginocchio” (Fig. 20), il risultato prodotto conterrà già tutte le caratteristiche che renderanno riconoscibile la figura. I pixel che sono l'anima dell'immagine sono stati identificati e riadattati dal sistema, pertanto ogni immagine utilizzata nel rilievo fotografico viene applicata sulla superficie della nuvola densa. La *mesh* a questo punto sembrerà una rete formata da nodi, i quali certamente sono intrecciati fra di loro, però che sono anche dotati di imperfezioni o punti che devono essere omessi, o se si preferisce, cancellati in modo da ottenere un modello accurato. Si deve tenere conto che la scelta di cancellare del tutto i punti indesiderati ci potrebbe indurre a riprendere il lavoro dalle fasi iniziali, dal momento che anche questi contengono informazioni importanti per riprodurre il modello tridimensionale, perciò è consigliato usare i comandi d'isolamento dell'oggetto per evitare che il programma impieghi più del necessario.



Fig. 20 - *Mesh* del “Galata in ginocchio”.

L'ultimo passaggio sarà la creazione della *texture* (Fig. 21) e la scalatura del modello, ovvero l'attribuzione della corretta dimensione metrica sulla statua, in modo da poter effettuare misure su di essa. Questa operazione sarà utile, da una parte per registrare le quelle che sono le dimensioni reali dell'oggetto, dall'altra per poter ricavare una stampa a scala, la quale permette di riprodurlo fisicamente partendo dal file digitale. Nell'ambito dei Beni Culturali l'operazione di stampa o la creazione di stampe tattili a rilievo potrebbe dimostrarsi come un'opportunità da sfruttare sia per motivi di catalogazione, restauro, conservazione, didattica, ricerca o divulgazione, sia per l'allestimento di percorsi tattili che permettano la fruizione diretta a persone ipovedenti o ciechi all'interno dei musei<sup>86</sup>.

La *texture* in definitiva renderà il modello più dettagliato e realistico mediante la sovrapposizione delle caratteristiche cromatiche dell'opera, aumentando la qualità complessiva.



Fig. 20 – *Texture* finale del “Galata in ginocchio” con caratteristiche fotorealistiche.

86 Per approfondimenti sui percorsi tattili si veda la recente proposta del Museo Archeologico di Ferrara sul sito [www.archeoferrara.beniculturali.it](http://www.archeoferrara.beniculturali.it).

A questo punto il processo ricostruttivo è culminato, saranno necessari minimi ritocchi al modello che riguardano, la posizione e l'adeguamento del contrasto dell'immagine. Una volta terminato il lavoro all'interno del software *3DZephyr Lite*, se si vuole potenziare il livello di fruibilità di quanto è stato creato, si potrà esportare il file in una delle tante piattaforme<sup>87</sup> che permettono una navigazione dinamica sull'oggetto in 3D.

Sin dalle prime pagine di questa tesi si è voluto sottolineare l'importanza di non limitarsi ad un uso esclusivamente scientifico del dato archeologico, augurando un sempre più diffuso utilizzo delle applicazioni tecnologiche per garantire una maggiore diffusione della cultura. Uno dei modi per rendere ciò una realtà più tangibile, è quello di tradurre l'archeologia scritta in archeologia visuale. Per quanto sia un compito per lo più destinato a esperti in comunicazione e ai divulgatori che meglio di uno scienziato conoscono il linguaggio adatto per rapportarsi con il pubblico, bisogna essere consapevoli che anche nella formazione dell'archeologo è indispensabile una preparazione che gli consenta di comunicare in modo chiaro e non convenzionale.

I motivi soprannominati sono stati determinanti per intraprendere la ricerca di uno strumento in grado di abbinare e supportare l'immissione di informazioni grafiche da una parte, e testuali dall'altra, per cui si è scelto di fare uso di una delle piattaforme comunicative ed interattive attualmente più valide. Si tratta di *Sketchfab*, è un nuovissimo servizio web pensato per tutti coloro desiderino semplicemente visualizzare o comunicare attraverso contenuti tridimensionali. Questo sistema sfrutta al massimo la tecnologia delle librerie grafiche in rete (*webGL*) e le potenzialità dei motori di ricerca offrendo la possibilità di pubblicare i propri progetti e incorporarli in modo innovativo in qualsiasi pagina web, in questo modo permette al visitatore una navigazione interattiva in 3 dimensioni direttamente dal browser, senza l'uso o l'installazione di software esterni 3D (Fig. 21).

---

87 Si consiglia l'uso della piattaforma *Sketchfab*: si tratta di un sistema web che permette di caricare file tridimensionali, consentendo una visualizzazione dinamica, ovvero che ci permette di ravvicinare o allontanare l'oggetto in 3D, ruotarlo o traslarlo, in più è possibile inserire informazioni riguardanti l'opera in schede numerate. Si veda <https://sketchfab.com/>.

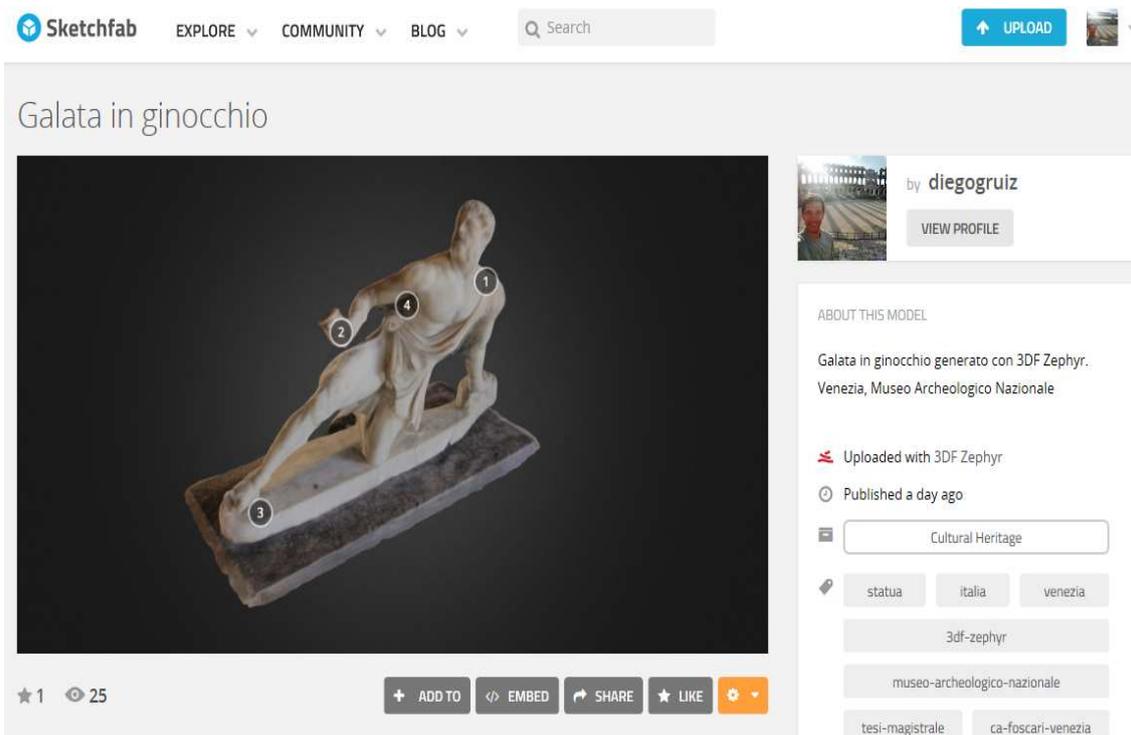


Fig. 21 – Sketchfab, piattaforma di visualizzazione 3D.

Sul modello tridimensionale del “Galata in ginocchio” è stato possibile apportare etichette numeriche virtuali con lo scopo di suggerire all'utente una lettura più chiara dell'opera esposta. Su ognuna delle etichette sono state inserite informazioni riguardanti aspetti di carattere storico-artistico e archeologico con le quali si è voluto approfondire sulle questioni che normalmente vengono tralasciate dalle rigidità delle più scarse ed essenziali schede o targhette museali.

## 10. Parametri e generalità conclusive per ottenere un modello 3D

In questo paragrafo si intende dare le informazioni riguardanti i parametri necessari per ottenere da un insieme di fotografie un modello 3D senza pretese, ma semplicemente basato sull'esperienza della registrazione virtuale del “Galata in ginocchio” e di altri reperti che saranno illustrati nel capitolo finale di questa tesi.

**Accuratezza:** impostazioni di maggior accuratezza produrranno un risultato migliore se i valori della fotocamera in quanto a fedeltà dell'immagine vengono lasciati alti, ma implicheranno come si è detto in precedenza un maggior sovraccarico del computer e un allungamento dei tempi di lavorazione; invece, impostazioni più basse implicheranno una riduzione del tempo di elaborazione e un grado di fedeltà minimo o scadente. Di conseguenza si dovrà tener conto delle capacità della strumentazione impiegata.

**Selezione delle fotografie:** in questa fase potremmo scegliere fra due opzioni, ovvero, la preselezione di immagini o la selezione generica. Con la prima opzione il processo sarà più veloce, la seconda opzione impiegherà una selezione fotografica meno precisa con la quale si rischia la sovrapposibilità dell'immagine.

**Costruzione della *mesh*:** qui la qualità delle riprese gioca un ruolo fondamentale. Si deve ricordare che una maggior qualità richiede di conseguenza un maggior tempo nel processo di riconoscimento dei dati da parte sia del software, sia del computer.

**Filtro della profondità:** si tratta di uno strumento opzionale basato su un algoritmo che calcola la geometria dell'oggetto fotografato, il quale dipenderà direttamente dalla qualità delle riprese. Esistono tre percorsi di selezione di questo filtro. Per quanto riguarda il primo che è denominato lieve, si può mettere in funzione quando la geometria della scena è complessa e con molti dettagli. Il secondo è quello moderato, il risultato ottenuto avrà un grado di accuratezza medio. Il terzo denominato esaustivo, raramente si mette in funzione perché la maggior parte dei computer convenzionali ha

al suo interno un scheda grafica di medie prestazioni, perciò sarà quasi impossibile finalizzare la lettura dei dati.

**Ricostruzione del tipo di superficie:** definisce la tipologia della scena ripresa da ricostruire. Di fatti spesso ci troviamo di fronte ad oggetti di piccole, medie o grande dimensioni, ravvicinati o distanti, quindi la corretta selezione ella scena determinerà l'impiego di una maggior o minor quantità di memoria in proporzione al grado di fedeltà richiesto.

**Sorgente dei dati:** a seconda del programma in uso, l'origine specifica da cui trarre i dati va determinata dalla libera selezione delle immagini o da fotogrammi estratti da video che andranno a configurare il modello tridimensionale.

**Numero di poligoni:** durante il processo di creazione della *mesh*, il numero di poligoni determinerà la grandezza del file finale. È consigliato un numero basso, in quanto un numero elevato di poligoni si tradurrà, in un file pesante di difficile gestione.

**Minima/massima intensità:** ci permette di procedere alla selezione dell'immagine con la minima/massima registrazione di pixel corrispondente alle riprese fotografiche. Questo strumento determinerà la qualità del processo creativo.

**Creazione della *texture*:** questa selezione è generica, le caratteristiche dell'oggetto sottoposto al processo tridimensionale a questo punto sono già state assegnate e non ci sarà bisogno di alcun aggiustamento dei parametri per proiettare il modello 3D all'interno della scena virtuale.

## 11. Altri casi di studio

Oltre all'esperienza di modellazione tridimensionale del “Galata in ginocchio”, ho voluto sfruttare le potenzialità della fotogrammetria automatica e dei mezzi digitali per lanciare una proposta attraverso la quale si tenta un approccio diverso nella gestione del bene materiale, rispettando le esigenze conservative e al contempo soddisfacendo le esigenze fruttive dell'utente mediante un percorso immateriale con la creazione di una galleria interattiva tridimensionale. Altri hanno già tentato questo percorso con risultati degni di nota, però senza dubbio con un margine di miglioramento molto ampio<sup>88</sup>, in quanto l'esperienza di navigazione risulta incompleta. Per questo motivo il presente progetto di fotogrammetria automatica si propone di far conoscere alternative facilmente accessibili.

### 11.1 “Testa di Dioniso”

Si tratta di una replica di epoca romana (II sec. d.C. ca.) ispirata dall'originale andato perduto dello scultore Lisippo, la cui datazione si aggira intorno al 325 a. C.; è un'opera in marmo alta 29 cm. proveniente anch'essa dalla donazione di Giovanni Grimani del 1587 (fig. 22).



Fig. 22 – “Testa di Dioniso”, riprese fotografiche presso il Museo Archeologico Nazionale, Venezia.

88 Si veda [www.meravigliedivenezia.it](http://www.meravigliedivenezia.it).

La testa raffigura Dioniso, con capo cinto da una corona d'edera, pettinatura fluente, spartita sopra la fronte, le cui chiome si dipartono fino a coprire le orecchie e scendono lungo i lati insinuandosi verso il volto che ha un'espressione inquieta mentre rivolge lo sguardo verso l'alto.

La Testa aveva fatto parte per diversi secoli di una statua di Dioniso (altezza 2,03 m.) collocata in una delle grande nicchie del vestibolo della Libreria Marciana, frutto di interventi di restauro rinascimentali che hanno unito parti moderne e frammenti antichi di diversa provenienza; successivamente negli anni venti del secolo scorso la suddetta Testa fu separata dal corpo. Soltanto negli anni settanta del Novecento la critica collegò le caratteristiche del capo alle creazioni dello scultore Lisippo, in particolare con la statua del Dioniso seduto visto da Pausania<sup>89</sup> nel santuario dedicato al Dio sull'Elicon. Tra i più efficaci confronti con opere lisippee, proposti dalla critica<sup>90</sup>, vi sono quelli con alcuni immagini di Alessandro Magno, di cui Lisippo fu ritrattista ufficiale<sup>91</sup>. È il genere di acconciatura spartita sopra la fronte con motivi ascensionali e le ciocche dei capelli che scendono ad incorniciare il volto, nonché l'espressione pensosa e inquieta del viso a ricordare elementi specifici dell'arte scultorea lisippea.

Dal punto di vista operativo, la minor complessità dell'opera rispetto al “Galata in ginocchio”, ha richiesto dei tempi di ripresa e di elaborazione più ristretti, la vicinanza al muro posteriore e ad altre opere ha generato una mancanza nella ricostruzione di una delle porzioni del capo e della base su cui poggia, per questo motivo si è reso necessario ricorrere ad un comando specifico per il miglioramento automatico della fotocoerenza per poter procedere alla creazione della nuvola densa. Il risultato finale è un modello tridimensionale navigabile anch'esso in modo dinamico a 360 gradi e dotato di tutte le caratteristiche rappresentative dell'opera (Fig. 23).

---

89 PAUS IX 30, 1.

90 DÖRIG 1970.

91 MORENO 1974, p. 12.



Fig. 23 – “Testa di Dioniso”, processo di tridimensionalizzazione.

In sequenza: nuvola sparsa, nuvola densa, *mesh*, *texture*.

## 11.2 “Ara Grimani”

Tra le varie opere che si possono ammirare nelle sale del Museo Archeologico Nazionale di Venezia, spicca per bellezza la cosiddetta “Ara Grimani”, così chiamata perché per secoli è stata erroneamente considerata un altare. In realtà, si tratta di una base di statua con rilievi scolpiti sui quattro lati, su cui vengono raffigurati Satiri e Menadi in scene legate al simposio e al mondo di Dioniso (Fig. 24).



Fig. 24 - “Ara Grimani” riprese fotografiche presso il Museo Archeologico Nazionale, Venezia.

L'opera che risale alla fine del I sec. a.C., faceva parte della collezione del Patriarca d'Aquileia Giovanni Grimani. In seguito alla donazione del 1587 è entrata a far parte dello Statuario della Serenissima. È composta da una base quadrangolare con zoccolo riccamente decorata da elementi vegetali stilizzati o geometrici. Sulla faccia frontale, sono raffigurati un Satiro e una Menade nudi, colti in un momento di intima complicità e affiancati da un altro Satiro che tiene con la mano sinistra un contenitore per il vino. Nella scena successiva viene raffigurato un Satiro in equilibrio che si china per baciare una Menade seduta su una roccia coperta da un drappo. Gli stessi protagonisti si ritrovano nel bassorilievo dell'altra faccia lunga: semisdraiato, con le gambe coperte dal mantello, il Satiro alza la mano destra e tiene con la sinistra il tirso (bastone) e la coppa per il vino, mentre la Menade suona la lira. A fare da sfondo alla scena un vaso ad alte anse che poggia su un pilastro, sullo sfondo vi è un piccolo quadro decorato con elementi vegetali stilizzati. Nell'ultimo bassorilievo il Satiro in piedi poggia il braccio sinistro sulle spalle di una Menade seduta con la lira appoggiata alla gamba sinistra e con la testa rivolta al compagno di scena. La scelta di scolpire gli stessi personaggi su tre dei quattro lati, suggerisce che l'artista abbia deciso deliberatamente di raccontare un'unica storia, il quarto lato invece, si distacca dagli episodi precedenti facendo presumere che si tratti dell'aggiunta di un artista diverso dall'originale in un'epoca successiva. La resa dei personaggi si caratterizza per un volume pieno che riprende stilisticamente e iconograficamente, le opere di scultori greci attivi tra la fine del IV sec. a.C., mentre le decorazioni sullo zoccolo e sulla cornice presentano schemi tipici dell'arte decorativa delle officine di Roma nell'epoca di Augusto (27 a.C. - 14 d.C.); per tali motivi la datazione dell'Ara Grimani si colloca verso la fine del I secolo a.C.<sup>92</sup>.

L'ambiente espositivo centrale, nonché le contenute dimensioni dell'opera (altezza 96 cm; larghezza sup. 70 cm, larghezza inf. 95 cm; spessore 67 cm), hanno favorito la ripresa fotografica e contribuito a far risaltare la ricca decorazione di cui è composta. Per il processo di digitalizzazione e la realizzazione del modello tridimensionale sono state necessarie circa 80 foto con un adeguamento minimo dei parametri per la riuscita della *texture* finale (Fig. 25).

92 *Museo archeologico nazionale di Venezia* 2004.



Fig. 25 - “Ara Grimani”, processo di tridimensionalizzazione.

In sequenza: nuvola sparsa, nuvola densa, *mesh*, *texture*.

Per concludere, il processo di digitalizzazione delle tre opere esposte sopra ha richiesto certo una valutazione caso per caso, dovuto ovviamente alla diversità della la loro composizione e manifattura, ma il processo di tridimensionalizzazione è riuscito prendendo in considerazione il volume delle opere indipendentemente dalla loro geometria e dalla posizione che occupano nello spazio fisico.

## **. Conclusioni**

La ricerca svolta nell'ambito di questa tesi è stata finalizzata ad approfondire alcune tecniche di rilievo fotogrammetrico e in particolare le moderne tecniche *image-based* applicabili all'intero settore dei Beni Culturali per ottenere ricostruzioni virtuali e modelli tridimensionali di reperti archeologici. I principali vantaggi di questa tecnologia consistono nell'abbattimento dei costi delle strumentazioni necessarie, difatti sono strettamente indispensabili solo una fotocamera digitale e un computer di medie prestazioni. In quanto alla scelta del software, saranno le esigenze operative a dettare la scelta migliore. In questa sede si è ritenuto necessario avere a disposizione uno strumento caratterizzato da una grande compatibilità con gli altri sistemi informatici, la semplicità d'uso e l'accuratezza dei risultati, ma soprattutto si è cercato di valutare quale fosse l'offerta più completa, limitando la distribuzione di lavoro ad un solo componente software.

I nuovi progressi tecnologici e informatici mi hanno offerto la possibilità di esaminare le opportunità di sviluppo, di operatività e di affidabilità del processo di rilievo fotografico con il quale si è voluto valutare la funzione di questo mezzo per allargare più efficacemente i confini di osservazione, analisi e catalogazione del record archeologico attraverso i casi studio presentati, ovvero le tre opere d'arte antica selezionate: “Galata in ginocchio”, “Ara Grimani” e “Testa di Dioniso”.

L'esperienza condotta con la campagna di rilievo fotografico presso il Museo Archeologico Nazionale di Venezia aveva l'obbiettivo di mettere in pratica, attraverso le soluzioni software più accessibili e innovative, una valutazione da un punto di vista metodologico del processo di rilievo fotografico in archeologia, ragionando sul fatto che il modello attuale di raccolta di informazioni può essere più efficace, più moderno, più dinamico e a costi contenuti. Il risultato ottenuto è stato la creazione di un modello tridimensionale navigabile per ognuna delle opere scelte, le cui caratteristiche digitali hanno conservato l'aspetto originario dell'oggetto ripreso nonostante alcune variazioni di tipo cromatico che ad ogni modo non hanno influenzato le peculiarità morfologiche.

A questo punto, all'interno del software mediante il comando di esportazione si potrebbe destinare il file digitale delle opere alla stampa, il passaggio richiederebbe soltanto l'impostazione in formato STL, una delle opzioni di salvataggio più comuni per tali propositi. Il modello stampato, come è stato accennato in precedenza, potrebbe essere utilizzato per vari scopi: migliorare l'accessibilità dei percorsi museali, produrre repliche fedeli per allestire percorsi tattili destinati ad un pubblico eterogeneo, destinarlo ad analisi esaustive senza il rischio di danneggiare l'originale o per un utilizzo all'interno dell'ambito accademico. Ad oggi i materiali disponibili per la stampa costituiscono una vasta gamma, resine, legno, gesso, o materiali plastici solo sono alcuni di essi e devono essere scelti a seconda del grado di fedeltà che si vuole ottenere.

Il 3D in archeologia è diventato uno strumento che permette una rivalutazione delle modalità della raccolta dati sia in sede di ricognizione, sia nell'ambito di uno scavo con la conseguente ottimizzazione di un sistema che permette di avere accesso immersivo alle testimonianze materiali. Oltre a poter rivoluzionare la metodologia di catalogazione, si profila come un sistema di comunicazione in grado di far progredire il modo di esposizione dei risultati archeologici, sia all'interno della comunità scientifica, sia all'interno dell'ambito pubblico incrementando la valorizzazione del Patrimonio Culturale.

Il progetto di fotogrammetria applicata presentato in questa tesi è stato il frutto di un'esperienza personale che ha una finalità essenzialmente metodologica, la quale vuole solo sottolineare la possibilità di utilizzare nuove maniere di comunicazione multimediale in grado di rafforzare la contestualizzazione delle opere d'arte antica nelle sale espositive e potenzialmente nelle aree di ritrovamento originarie.

La tecnologia digitale per la documentazione, l'analisi e la divulgazione del Bene archeologico è ormai una realtà in diverse istituzioni, che ne sfruttano appieno la sua potenzialità, riuscendo a farle assumere un ruolo di rilievo nel rapporto fra opera d'arte e visitatore. Ho ribadito in diverse occasioni che l'utilizzo del 3D in archeologia non deve essere inteso come l'allestimento di un banale filmato di presentazione, né tantomeno un elemento che sostituisce l'esperienza diretta vissuta all'interno di un polo museale. Il 3D deve essere visto come una chiave di apertura ad una miglior diffusione della

conoscenza nella quale si apre una dimensione di interazione fra l'arte o i casi di studio e il destinatario finale.

Mi auguro che in futuro questa metodologia possa essere utilizzata non solo per la ricerca archeologica, ma anche come metodo di comunicazione alternativo da parte delle istituzioni e messo a disposizione della collettività per far conoscere reperti conservati nei magazzini dei poli museali. Si tratta pertanto di una proposta attraverso la quale si tenta un approccio diverso nella gestione del bene materiale rispettando le esigenze conservative e al contempo soddisfacendo le esigenze fruibili dell'utente mediante un percorso immateriale.

## **. Ringraziamenti**

Voglio dedicare queste ultime righe alle persone che in un modo o nell'altro mi hanno accompagnato nel percorso di approfondimento e sperimentazione di strumenti tecnologici entrati ormai da tempo a far parte della nostra quotidianità come lo sono i computer, le fotocamere e i software per la grafica. In ambito archeologico però sono senz'altro dei componenti che devono essere ancora compresi nelle loro massime potenzialità, nella funzione di efficace canale di trasmissione del sapere; è per questo che vorrei ringraziare Il prof. Luigi Sperti (Università Ca' Foscari di Venezia) per aver assecondato la mia curiosità riguardante la fotografia e i moderni sistemi di rilevamento tridimensionale in ambito archeologico; ringrazio la dott.ssa Annamaria Larese (Direttore del Museo Archeologico Nazionale di Venezia) per avermi dedicato parte del suo tempo e per il suo interesse e disponibilità nel concedermi la ripresa fotografica e la modellazione tridimensionale delle preziose opere d'arte antica presenti nelle pagine di questa tesi; ringrazio lo staff di 3d-archeolab, in particolare Giulio Bigliardi, per avermi seguito e consigliato durante il percorso di apprendimento riguardante la fotogrammetria automatica; ringrazio mia moglie Anna, così paziente e sempre disponibile, per avermi incoraggiato a intraprendere un percorso che coniugasse in qualche modo le mie passioni, la fotografia e l'archeologia; ringrazio infine la mia famiglia e amici tutti, per aver creduto che questo progetto fosse un buon modo per conoscere meglio aspetti archeologici e storico-culturali, mediante strumenti che uniscono passato e presente.

## Bibliografia

*Archeologia Virtuale 2012 = Archeologia virtuale: la metodologia prima del software. Atti del 2. seminario, Palazzo Massimo alle Terme, Roma, 5-6 aprile 2011, S. Gianolio (ed.) Roma.*

BATESON G. 1972, *Steps to an Ecology of Mind*, San Francisco.

BIALLO G. 2002, *Introduzione ai Sistemi Informativi Geografici*, Roma.

BIANCHINI M. 2008, *Manuale di rilievo e di documentazione digitale in archeologia*, Roma.

BLOCH M. (ed. it.) 1998, *Apologia della storia o mestiere dello storico*, Torino.

BORRA D. 2000, *la modellazione virtuale per l'architettura antica. Un metodo verso l'isoformismo percettivo*, in *Archeologia e Calcolatori* 11, pp. 259-272.

CABRUCCI A. 1999, *La fotogrammetria come strumento per la conservazione dei beni culturali*, Napoli.

CAMPANA *et al.* 2005 = CAMPANA S., MUSSON C., PALMER R. 2005, *In volo nel passato: aerofotografia e cartografia archeologica*, Firenze.

CARANDINI A., MANACORDA D. 1990, *Nuove riflessioni su "storie dalla terra"*, in FRANCOVICH R., MANACORDA D., *Lo scavo archeologico. Dalla diagnosi all'edizione, III Ciclo di Lezioni sulla Ricerca Applicata in Archeologia*, Certosa di Pontignano 1989, Firenze.

CLACK T., BRITAIN M. 2007, *Archaeology and the media*, California.

CLARKE D. L. 1978, *Analytical Archaeology*, London.

COARELLI F. 1978, *Il grande donario di Attalo I*, in *I Galli e l'Italia* 1978, pp. 231-234.

COWGILL G. L. 2001, *Past, present and future of Quantitative Methods in United States Archaeology*, in *Computing Archaeology for Understanding the Past: CAA 2000*, pp. 35-40.

*Collezioni di antichità a Venezia nei secoli della Repubblica* 1988 = *Collezioni di antichità a Venezia nei secoli della Repubblica: dai libri e documenti della Biblioteca Marciana, catalogo della mostra*, Roma 27 maggio-31 luglio 1988, M. Zorzi (ed.), Roma.

- CONGIU G. 2001, *Grafica in pratica. Introduzione al 3D*. Bresso.
- CURLESS B. 2000, *Overview of active vision techniques*, in *3D Photography*, pp. 303-312.
- D'ANDREA A. 2000, *Atti del 1. Workshop nazionale di archeologia computazionale*, in *Archeologia e calcolatori*, 11, pp. 13-31.
- D'ANDREA A. 2006, *Documentazione archeologica, standard e trattamento informatico*. Budapest.
- D'ANNIBALE G. 2004, *Fotogram: restituzione di modelli 2D e 3D da sorgenti fotografiche*, Palermo.
- DE LUCA *et al.* 2007 = DE LUCA L., FLORENZANO M., VERON P. 2007, *A generic formalism for the semantic modeling and representation of architectural elements*, in *visual computer* 23, pp. 181-205.
- DE PAOLI M. 2004, *“Opera fatta diligentissimamente” Restauri di sculture classiche a Venezia tra quattro e cinquecento*, Roma.
- DÖRIG J. 1970, *Der Dionysos Lysipps* in *Antike Kunst* 13, p. 117-118.
- FAGGIN F. 2011, *Il padre del microprocessore*, Milano.
- FAVARETTO I. (ed.) 2002, *Arte antica e cultura antiquaria nelle collezioni venete al tempo della Serenissima*, Roma.
- FONZA *et al.* 2009 = FONZA V., NARDINI A., VALENTINI M. 2009, *Informatica e archeologia medievale, l'esperienza senese*. Firenze.
- FORTE M. *et al.* 2004 = FORTE M., PESCARIN S., PIETRONI E., DELL'UNTO N. 2004, *An Integrated Approach to Archaeology. From the Fieldwork to Virtual Reality System*, in NICCOLUCCI F. 2010, *Beyond the Artifact. Digital Interpretation of the Past*, Prato 13–17 April 2004, Budapest.
- GADAGNINI W. 2000, *Fotografia*. Bologna.
- GALLO R. 1952, *Le donazioni alla Serenissima di Domenico e Giovanni Grimani*, in *Archivio Veneto* 82, pp. 34-77.
- GELICHI S., NEGRELLI C. 2008, *A misura d'uomo: archeologia del territorio cesenate e valutazione dei depositi*, Borgo S. Lorenzo.

GHEDINI F. 1997, *Le sulture romane dello Statuario: copie, originali, ritratti e rilievi*, in *Lo Statuario Pubblico della Serenissima* 1997, pp. 98-103.

GIULIANI C. F. 1994, *Rilievo e analisi tecnica dei monumenti e definizione cronologica delle strutture murarie*, in *Rivista di Topografia Antica* 4, pp. 85-90.

GUALINDI M. L. 2014, *Comunicare l'archeologia*, in *MapPapers* 1-4, pp. 39-46.

HANSEN E. 1971, *The Attalids of Pergamon*, New York.

HENRY C. 2006, *Landscape archaeology and GIS*, Oxford.

HOCHMANN *et al.* 2008 = HOCHMANN M., LAUBER R., MASON S. 2008, *Dalle origini al Cinquecento*, Venezia.

HODDER I. 2000, *Towards Reflexive Method in Archaeology: The example at Catalhöyük*, Cambridge.

JESTAZ B. 1963, *L'Exportation des marbres de Rome de 1535 à 1571*, in *Mélanges d'archéologie et d'histoire* 75, pp. 415-466.

JESTAZ B. 1990, *Les antiquités dans les inventaires vénitiens du XVIIe siècle*, in *Venezia e l'Archeologia. Un importante capitolo nella storia artistica veneziana*, 1990, pp. 35-40.

KORRES M. 2004, *Essay on the Pedestals and the Akropolis South Wall*, in A. Steward 2004, *Attalos, Athens, and the Akropolis*, Cambridge.

*La gloria dei vinti* 2014 = *La gloria dei vinti. Pergamo, Atene, Roma. Catalogo della mostra*, Roma 18 aprile-7 settembre 2014, F. Coarelli (ed.), Roma.

LANCIANI R. (ed.) 1990, *Storia degli scavi di Roma e notizie intorno le collezioni romane di antichità*, Roma.

LIMONCELLI M. 2012, *Il restauro virtuale in archeologia*, Roma.

MALDONADO T. 2007, *Reale e virtuale*, Milano.

MANACORDA *et al.* 2009 = MANACORDA D., RONCALLI F., PIRO S. 2009, *La formazione in archeologia*, in *Quale futuro per l'archeologia*, Roma.

MANTOVANELLI M. 1990, *Arte e committenza nel Cinquecento in area veneta: fonti archivistiche e letterarie*, Padova.

- MORENO P. 1994, *Scultura ellenistica*, Roma.
- MORENO P. 1974, *Lisippo*, Bari.
- MOSCATI S. 1991, *I Celti*, Milano.  
*Museo archeologico nazionale di Venezia 2004 = Museo archeologico nazionale di Venezia 2004*, a cura di, FAVARETTO I., DE PAOLI M., DOSSI M. C., Milano.
- PALKA P. 2011, *Il rilievo 3D ad oggetto. Nuove procedure per il rilevamento dell'ambiente costruito*. Roma.
- PALMA B. 1981, *Il piccolo donario pergameno*, in *Xenia* 1, pp. 45-84.
- PERRY M. 1978, *Cardinal Domenico Grimani's legacy of ancient art to Venice*, in *JWCI*, 41, pp. 215-244.
- PICARRETA F. 1992, *Fotogrammetria finalizzata all'archeologia: il contributo del calcolatore*, in *Archeologia e calcolatori* 3, pp. 101-120.
- RENFREW C., BAHN P. (ed.) 2009, *L'essenziale di archeologia: teoria, metodi, pratiche*, Bologna.
- ROSSINI O. 2010, *I colori dell'Ara Pacis, storia di un esperimento*, in *Archeomatica* 3, pp. 20-25.
- RUSSO *et al.* 2011 = RUSSO M., REMONDINO F., GUIDI G. 2011, *Principali tecniche e strumenti per il rilievo tridimensionale in ambito archeologico*, in *Archeologia e Calcolatori* 22, pp. 169-198.
- SEMENARO G. 2009, *Strumenti "tradizionali" e nuove tecnologie per la comunicazione in archeologia*, in *Archeologia e Calcolatori* 20, pp. 85-94.
- STEWART A. 2004, *Attalos, Athens, and the Akropolis: the Pergamene "Little Barbarians" and their Roman Reinassance Legacy*. Cambridge.
- VALENTI M. 1998, *La gestione informatica del dato; percorsi ed evoluzioni nell'attività della cattedra di Archeologia Medievale del Dipartimento di Archeologia e Storia delle Arti-Sezione archeologica dell'Università di Siena*, in *Archeologia e Calcolatori* 9, 305-329.
- ZINGARELLI N. 2010, *Vocabolario della lingua italiana*, p. 1743.
- ZIVIANI F. 1994, *Breve introduzione al GIS*, Milano.

## Sitografia

<http://graphics.stanford.edu>

<http://homes.esat.kuleuven.be/~visit3d/webservice/v2/download.php>

<http://www.agisoft.com>

<http://www.arc3d.be>

<https://archeoguide.wordpress.com>

<https://archive.org/details/scientificpaper00londgoog>

<https://sketchfab.com>

<opensourcephotogrammetry.blogspot.it>

[www.3d-archeolab.it](http://www.3d-archeolab.it)

[www.3dflow.net](http://www.3dflow.net)

[www.arapacis.it](http://www.arapacis.it)

[www.archcalc.it](http://www.archcalc.it)

[www.archeoferrara.beniculturali.it](http://www.archeoferrara.beniculturali.it)

[www.archiviostereoscopicoitaliano.it](http://www.archiviostereoscopicoitaliano.it)

[www.beniculturali.it](http://www.beniculturali.it)

[www.geotecnologie.unisi.it](http://www.geotecnologie.unisi.it)

[www.meravigliedivenezia.it](http://www.meravigliedivenezia.it)

[www.mercatiditraiano.it](http://www.mercatiditraiano.it)

[www.unife.it/campagne-di-scavo/isernia-la-pineta](http://www.unife.it/campagne-di-scavo/isernia-la-pineta)

[www.vmresource.com](http://www.vmresource.com)